

Untersuchungen zur Einführung eines Managementsystems für den Straßenbau in Entwicklungsländern am Beispiel Kamerun

Der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs
Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation

von

M.Sc. Jean de Dieu WANDEU
geboren am 22.11.1964 in Babouantou/Kamerun

2007

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus

Tag der Promotion: 05 Oktober 2007

„A minimum of expense is, of course, highly desirable; but the road which is truly the cheapest is not the one which has cost the least money, but the one which makes the most profitable returns in proportion to the amount spent on it” W. M. GILLESPIE – 1847

Vorwort

Die Funktion einer Volkswirtschaft hängt wesentlich von den Gegebenheiten der Infrastruktur ab. Speziell das System Straße ist für den Warenaustausch sowohl national wie auch international von zentraler Bedeutung. In den vergangenen Jahrzehnten ist mit Hilfe internationaler Institutionen viel Geld in die strukturschwachen Länder Schwarzafrikas geflossen, in der Hoffnung dadurch einer wirtschaftlichen Fortentwicklung Vorschub zu leisten. Leider sind die erheblichen Geldmengen verhältnismäßig wirkungslos gewesen. Die Gründe dafür sind vielfältig. Wie jedes Verschleißobjekt müssen Straßen erhalten und unterhalten werden. Das setzt zum einen die Einsicht der Notwendigkeit dieser Maßnahmen voraus und zum anderen die Übertragung dieser Notwendigkeit in den politischen Raum, der dieser nichtspektakulären Geldnutzung kaum Bedeutung schenkt. Aber auch die Einsicht der Notwendigkeit von Unterhaltungsmaßnahmen hilft nur bedingt, weil in den meisten Fällen das notwendige Geld nicht vorhanden ist.

Eine fein abgestimmte, durch lokale Gegebenheiten geprägte Strategienanalyse kann zu langfristig kostengünstigen Lösungen führen. Bei begrenzten Budgets, wie sie üblicherweise auch in Entwicklungsländern vorliegen und diese zudem zu wesentlichen Teilen aus dem Ausland finanziert werden, entwickelt Herr Wandeu einen zielführenden Ansatz, wie das Netz der ungebundenen Straßen über ein langfristiges Bauprogramm in Asphaltstraßen überführt werden kann, ohne das vorhandene Budget wesentlich zu belasten. Damit zeigt Herr Wandeu, wie spezifische Probleme seines Landes überwunden werden können und langfristig die Abhängigkeit von der Fremdfinanzierung gemindert werden kann.

Ähnlich wie in Europa erbringt der Straßenverkehr wesentlich mehr Staatseinkünfte als für Straßenbau und –erneuerung gebraucht werden. Erschwerend tritt bei Ländern der dritten Welt hinzu, dass die Finanzströme oftmals unkontrollierte Wege nehmen. Herr Wandeu greift die nicht neue, aber in der Realität praktisch nicht genutzte Idee des Straßenfonds auf, der darauf zielt, feste Summen mit gewissen Inflationsraten im Staatshaushalt für die Erhaltung der Infrastruktur vorzuhalten, um langfristig den volkswirtschaftlich maximalen Nutzen zu erzielen. Mit klar strukturierten Vorschlägen hofft Herr Wandeu, sein Heimatland auf den Weg in eine bessere Zukunft lenken zu können.

Hannover im Oktober 2007

Prof. Dr.- Ing. Jürgen Hothan

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Fachgebiet Konstruktiver Straßenbau, der Leibniz Universität Hannover. Sie wurde dort von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie als Dissertation angenommen.

An erster Stelle möchte Ich besonders Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Hothan sowohl für die fachliche Betreuung, durch wertvolle Diskussionen und Anregungen, als auch für die vielseitige Unterstützung zum Zustandekommen dieser Arbeit herzlich danken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Achmus danke Ich für die bereitwillige Übernahme des Korreferates sowie seine hilfreichen Hinweise.

Meinen Kolleginnen und Kollegen danke Ich für die freundliche Zusammenarbeit, besonders Herrn Dr.-Ing. M.-O. Förster für die Formatierung und Anfertigung der Endfassung dieser Arbeit sowie Florian und Andrea für die freundliche Unterstützung.

Meiner Frau, meinen Kindern, meiner Mutter und meinen Schwiegereltern danke Ich herzlich für die Unterstützung und für die Ermutigung.

Ich widme diese Arbeit meinem verstorbenen Vater Samuel Wandeu.

Hannover im Oktober 2007

Jean de Dieu Wandeu

Kurzfassung

Die Straßenunterhaltung ist nach allgemeiner Erkenntnis in vielen Entwicklungsländern unzureichend. Für die Erstellung und Erhaltung einer bedarfsgerechten Straßeninfrastruktur fehlt in vielen ärmeren Ländern eine adäquate und sichere Finanzierung sowie eine effiziente Planung und Wartung des Straßennetzes. Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb untersucht, ob mit Hilfe eines Pavement Management Systems (PMS), am Beispiel des kamerunischen Straßennetzes, eine optimale und bedarfsorientierte Erhaltungsstrategie für Entwicklungsländer entwickelt werden kann, die langfristig zu einer leistungsfähigen Infrastruktur führt. Hierbei steht auch die Unabhängigkeit des Landes von ausländischen Geldgebern im Vordergrund.

Um einen ersten Einblick in die Funktionsweise von Pavement Management Systemen zu bekommen und deren Leistungsfähigkeit aufzuzeigen, wird zunächst eine Projektanalyse eines konkreten Straßenabschnittes durchgeführt. Gezeigt wird zudem, wie gezielt auf örtliche Besonderheiten z.B. vorhandene Baustoffe eingegangen werden kann. Die Analyse des gesamten Prioritätsnetzes des Landes Kamerun zeigt dann, wie sich auf der Grundlage unterschiedlicher Erhaltungsstrategien der Zustand des gesamten Netzes in Abhängigkeit von den finanziellen Mitteln entwickelt. Aus dieser Analyse lässt sich dann eine optimale Strategie ableiten. Als weiterer Schritt wird auf das Problem der Unbefahrbarkeit von Straßen mit ungebundenen Deckschichten eingegangen, die gerade in Regenzeiten sehr schlecht oder gar nicht befahrbar sind und somit zu beträchtlichen volkswirtschaftlichen Schäden führen. Hierzu wurde ein Konzept zur stufenweisen Asphaltierung des gesamten Netzes erarbeitet.

Aus den Untersuchungen wird ein optimales Erhaltungskonzept bestimmt, welches es ermöglicht, durch einen gezielten Einsatz der finanziellen Mittel, das Straßennetz im bestmöglichen Zustand zu erhalten. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass es möglich ist, durch einen Stufenplan das gesamte Straßennetz zu asphaltieren. Hiermit könnte, mit einem vergleichsweise geringen Aufwand, ein erheblicher volkswirtschaftlicher Nutzen entstehen, der die Entwicklung des gesamten Landes nachhaltig beeinflusst.

Abschließend erfolgt ein Ausblick auf die Möglichkeiten zur Umsetzung eines solchen Erhaltungskonzeptes für das Land Kamerun und die Erarbeitung einer Empfehlung. Unter der Berücksichtigung, dass die Mittel hierfür im eigenen Land erwirtschaftet werden können, wäre die nachhaltige Entwicklung der Infrastruktur ein enormer Beitrag zur gesamten Entwicklung des Landes. Natürlich lässt sich diese Vorgehensweise auch auf jedes andere Entwicklungsland übertragen und den dortigen Randbedingungen anpassen.

Schlagwörter: PMS, Entwicklungsländer, Erhaltungsstrategie, Optimierungskonzept

Abstract

In general, the road maintenance is not sufficiently done in many developing countries. In such countries, there is often a lack of safe financing as well as planning maintenance of the road network to meet the demand level of road infrastructure. In this research work, therefore, with the help of Pavement Management System (PMS) - taking road system of Cameroon as an example - an optimal need-oriented maintenance strategy of developing countries is analysed, which leads to a long term basis of an efficient infrastructure. In this aspect, independency of the developing countries from foreign support is highly regarded as an important goal.

To get functional description of Pavement Management Systems and its efficiency, a project analysis of a road section is accomplished. Besides it is shown how local conditions, for example construction materials, can be used. From the analysis of the priority road network of Cameroon a function between the road network and financial means is developed, based on different maintenance strategies. With the help of this analysis, an optimal strategy can be found. In the next step, the problem of impassableness of the unsealed road is considered. This is especially a problem during the rainy season in which these roads are either very badly or not passable at all. Hereby a huge national economic damage is caused. As a result of this research a concept is developed which shows how the whole road network can be asphalted stepwise.

As a final result of this research an optimal maintenance concept is determined. This concept can help keeping the road network in the best possible condition by a purposeful use of the financial means.

It could be proven, that it is possible to asphalt the road network with a graduated scheme. Hereby it is possible that by this a significant national economical benefit can be associated. Besides this has very big positive affects to the development of the whole country.

Finally it is shown how such maintenance concepts can be introduced in Cameroon and some recommendations were made. Hence the financial means and resources can be gained in the own country, such infrastructure development would be an enormous contribution for the development of the whole country. This process can also be adapted in any other developing countries taking some boundary conditions in account.

Key words: PMS, developing country, maintenance strategy, optimization concept

Résumé

L'entretien routier est de manière générale insuffisant dans plusieurs pays en voie de développement. Ces pays sont en général caractérisés par un manque de financement sûr et adéquat de la construction et de l'entretien d'une bonne infrastructure routière ainsi que par une planification et un entretien inefficace de leur réseau routier. Le but de ces travaux de recherches c'est d'étudier si avec l'aide d'un système de gestion des chaussées, à partir de l'exemple du réseau routier du Cameroun, une stratégie d'entretien optimale et adaptée aux besoins des pays en voie de développement peut être développée. Cette stratégie optimale devant à la longue permettre d'avoir dans ces pays des infrastructures routières performantes. L'un des objectifs visés étant l'indépendance du pays par rapport au financement extérieur du secteur routier.

Pour une prise de connaissance de la description fonctionnelle d'un système de gestion des chaussées et pour montrer l'efficacité d'un tel système, une analyse de projet sera de prime abord effectuée sur une section de route réelle. L'importance de la maîtrise des données locales, comme par exemple l'utilisation des matériaux locaux dans la construction routière, sera précisée. Une analyse de stratégies sur le réseau routier prioritaire du Cameroun a ensuite permis de montrer comment peut évoluer l'état de ce réseau en fonction du niveau de son financement. A partir de cette analyse de stratégies, une stratégie optimale a pu être définie. Ce travail s'est ensuite intéressé au problème de l'impraticabilité des routes non revêtues pendant la saison des pluies qui a pour corollaire des énormes pertes économiques et sociales. Pour résorber ce problème, un concept de bitumage progressif et systématique de l'ensemble du réseau a été élaboré.

Ce travail a débouché sur un concept d'entretien optimal, pouvant permettre à partir d'un financement bien déterminé, d'entretenir et de maintenir le réseau routier dans un bon état. Il a également pu être montré qu'il est possible, suivant un plan et un programme bien déterminé, de bitumer l'ensemble du réseau national non revêtu. Le revêtement permettra de réduire les coûts exogènes dus à l'impraticabilité en saison des pluies, et les avantages sociaux et économiques engendrés par les nouvelles sections revêtues pourront avoir un impact positif sur le développement de tout le pays.

Enfin le travail s'est intéressé à la possibilité d'introduction et d'application d'un tel concept de développement, d'entretien et de maintenance d'un réseau dans un pays comme le Cameroun et quelques recommandations ont été faites dans ce sens. Il a été montré qu'un tel concept peut permettre de financer localement la maintenance d'un réseau routier, indépendamment de l'aide extérieure. Le développement d'une bonne infrastructure routière ne pouvant que contribuer efficacement au développement économique et social de tout le pays. Ce procédé peut être adapté dans tous les pays en voie de développement mais bien entendu dans le respect des conditions locales propres au pays concerné.

Mots clés : Système de gestion des chaussées, pays en voie de développement, stratégies de maintenance, concept d'optimisation

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Das Land Kamerun	3
2.1	Geographische Lage und Topografie	3
2.2	Klima.....	4
2.3	Bevölkerung und Raumplanung.....	5
2.4	Wirtschaftliche Struktur	6
2.5	Verkehrsinfrastruktur	7
2.5.1	Die Straßen.....	7
2.5.2	Die Eisenbahn	8
2.5.3	Der Luftverkehr.....	9
2.5.4	Die Häfen	9
2.6	Das kamerunische Straßennetz	9
2.6.1	Straßennetzentwicklung	9
2.6.2	Straßenbeanspruchung	12
2.6.3	Straßennetzzustand.....	13
2.6.4	Straßenbaustoffe.....	14
2.6.5	Überblick über die gegenwärtige Erhaltungs- und Unterhaltungspolitik.....	17
2.6.6	Entwicklung des Verwaltungs- und Investitionsbudgets sowie die Außenfinanzierung von 1995 bis 2001	18
3	Rechenmodell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Straßenbaumaßnahmen (HDM-4)	19
3.1	Besonderheit der Straßenerhaltung in Entwicklungsländern	19
3.2	Pavement-Management-Systeme	20
3.3	Managementsysteme als wesentliche Instrumentarien der systematischen Straßenerhaltung	22
3.4	Highways Development and Management Program (HDM-4)	24
3.4.1	Allgemeines.....	24
3.4.2	Zweck des HDM-4-Programms	25

3.4.3	Programmstruktur und Programmablauf	26
3.4.4	Straßendaten	28
3.4.5	Bauliche Maßnahmen	42
3.4.6	Fahrzeugdaten.....	44
3.4.7	Klimadaten.....	46
3.4.8	Wirtschaftliche Analyse im HDM-4-Programm	46
4	Anwendung von HDM-4 für die Erhaltung und den Ausbau am Beispiel der Fernstraße Douala-Yaounde.....	57
4.1	Einleitung.....	57
4.2	Eingabedaten	57
4.2.1	Straßennetz	58
4.2.2	Fahrzeugflotte	61
4.2.3	Klimadaten.....	62
4.3	Berücksichtigung lokaler Baustoffe	65
4.3.1	Gewinnung eines verbesserten Materials durch die Mischung der Böden toniger Sand und Puzzolan.....	65
4.3.2	Untersuchungsergebnisse	67
4.3.3	Interpretation der Untersuchungsergebnisse	68
4.3.4	Eignung der verbesserten Böden als Straßenbaustoffe.....	70
4.3.5	Bestimmung der Lagenkoeffizienten der Fahrbahnbefestigungen mit den verbesserten Materialien	71
4.3.6	Zusammenfassung	71
4.4	Erhaltungs- und Ausbaumethoden.....	73
4.4.1	Definition der Wartungs- und Verbesserungsarbeiten	73
4.4.2	Struktur der angebauten Streifen	80
4.5	Projektanalyse mit HDM-4.....	82
4.6	Ökonomische Bewertung der Ergebnisse.....	84
4.6.1	Verkehrsaufkommen	84
4.6.2	Entwicklung der Längsunebenheit	84
4.6.3	Wirtschaftliche Untersuchungen	89
4.6.4	Analyse unter Berücksichtigung der Unfallkosten.....	94
4.6.5	Zusammenfassung	98

5	Auswirkungen unterschiedlicher Erhaltungsstrategien	100
5.1	Allgemeines Konzept der Strategiebergriffe.....	100
5.2	Prognose des langfristigen Zustandes des kamerunischen Prioritätsnetzes	101
5.2.1	Strategiebergriffe ohne Budgetbegrenzung.....	101
5.2.2	Analyse mit Budgetbegrenzung auf die verfügbaren Mittel (62 %).....	117
5.2.3	Analyse mit Budgetbegrenzung auf 80%.....	118
5.2.4	Sensitivitätsanalyse mit Änderung der Optimierungsmethode	119
5.2.5	Sensitivitätsanalyse mit Änderung der Betrachtungsperiode.....	120
5.2.6	Vergleich der mittleren IRI der verschiedenen Analysen	120
5.3	Erhaltung aus betriebstechnischer Sicht unrentabler nationaler ungebundener Strecken	122
5.3.1	Analyse zur Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Straßen.....	124
5.3.2	Verlängerung der Bauzeit wegen Knappheit des Geldes	130
5.3.3	Analyse zur Asphaltierung des gesamten ungebundenen Nationalen Netzes	134
5.4	Interpretation der Untersuchungsergebnisse	143
6	Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse	156
6.1	Deckung des Finanzbedarfs und Bedeutung des Straßenfonds.....	156
6.1.1	Quellen der Finanzierung der Straßenerhaltung	156
6.1.2	Bedeutung des Straßenfonds	159
6.2	Grobschema eines in Entwicklungsländern einsetzbaren PMS	161
6.3	Schlussfolgerungen	163
7	Zusammenfassung	165

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Politische Karte von Kamerun (Quelle: Wikipedia.org, Domenico-de-ga)	4
Abbildung 2-2:	Vorrangiges Straßennetz Kameruns [50]	11
Abbildung 2-3:	Beispiel eines überladenen LKW [71]	13
Abbildung 2-4:	Zustand des Straßennetzes im März 2003 [37]	13
Abbildung 2-5:	Große geologische Zonen Kameruns [66]	15
Abbildung 3-1:	Management-Kreis [53]	20
Abbildung 3-2:	Allgemeines Pavement Management [53]	22
Abbildung 3-3:	Module des Pavement-Management-Systems PMS [5]	23
Abbildung 3-4:	Entwicklung des HDM-Modells [67]	25
Abbildung 3-5:	Auswirkung von Rissen auf den SNP bei unterschiedlichem Ausgangszustand.....	31
Abbildung 3-6:	Modell zur Bestimmung des International Roughness Index IRI [59]	32
Abbildung 3-7:	Veränderung der strukturellen Bestandteile der Längsunebenheit gemäß den Klimazonen.....	33
Abbildung 3-8:	Entwicklung der zusätzlichen Veränderung der Längsunebenheit infolge Rissbildung	34
Abbildung 3-9:	Beispiel der totalen Veränderung der Längsunebenheit (Klimazone: Tropical-Humid)	36
Abbildung 3-10:	Maximale Längsunebenheit je Deckschichtenmaterial der ungebundenen Straßen	39
Abbildung 3-11:	Maximale Längsunebenheit als Funktion der Klimazone für Laterit Kies	39
Abbildung 3-12:	Effekt des Einebnens der Straßenoberfläche auf die Entwicklung des IRI	43
Abbildung 3-13:	Beispiel der Entwicklung der Fahrzeugbetriebskosten als Funktion der IRI	49
Abbildung 3-14:	Befahrbarkeit eine ungebundene Straße in der Trocken- und Regenzeit.....	51

Abbildung 3-15: Kostenfaktoren der Straßennutzerkosten einer schwer befahrbaren ungebundenen Straße in Abhängigkeit von der Dicke der Kiesdeckschicht.....	52
Abbildung 3-16: Quantitative Darstellung des internen Zinsfußes (Internal Rate of Return, IRR) [58].....	54
Abbildung 4-1: Definition des Straßenabschnittes Douala – Yaounde	58
Abbildung 4-2: Bestimmung des SNP-Wertes für den Oberbau des Abschnittes Douala-Yaounde durch den SNP Calculator Wizard	60
Abbildung 4-3: Straßenzustandserfassung (Douala-Yaounde) [50]	60
Abbildung 4-4: Vordefinierte und definierte Klimazonen.....	63
Abbildung 4-5: Veränderung des Längsunebenheitsklimakoeffizienten gemäß der Klimazonen.....	65
Abbildung 4-6: Herkunft der Bodenprobe	66
Abbildung 4-7: Körnungslinie der Mischung Pouzzolan von Djoungo + Toniger Sand PK 4.000 (Gemisch 1)	68
Abbildung 4-8: Körnungslinie der Mischung Pouzzolan von Limbe + Toniger Sand PK 4.500 (Gemisch 2)	69
Abbildung 4-9: CBR-Wert: Gemisch 1:Puzzolan von Djoungo + toniger Sand PK 4.000 und Gemisch 2: (Puzzolan von Limbe + toniger Sand PK 4.500	70
Abbildung 4-10: Verlauf der Lagenkoeffizienten.....	71
Abbildung 4-11: Entwicklung der Baukosten von ungebundenen Tragschichten zwischen Douala und Yaounde	73
Abbildung 4-12: Querschnitt der Fernstraße Douala – Yaounde:	81
Abbildung 4-13: Projektdefinition Rehabilitation Douala-Yaounde	82
Abbildung 4-14: Ausgabereports der Projektanalyse Rehabilitation Douala – Yaounde.....	83
Abbildung 4-15: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Unterhaltungs- und Erhaltungsalternative (7m) der beiden Abschnitte.....	85
Abbildung 4-16: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Ausbaualternativen (Verbreiterung: 3m) des Straßenabschnittes Douala – PK86	86
Abbildung 4-17: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Ausbaualternativen (Streifenhinzufügung: 7m) des Straßenabschnittes Douala – PK86	87

Abbildung 4-18: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Ausbaualternativen (Verbreiterung: 3m und Streifenhinzufügung: 7m) des Straßenabschnittes PK86 - Yaounde	88
Abbildung 4-19: Nettogegenwartswert als Funktion der Baulastträgerkosten je Alternative des Abschnittes Douala – PK 86.....	90
Abbildung 4-20: Nettogegenwartswert als Funktion der Baulastträgerkosten je Alternative des Abschnittes PK86 - Yaounde	91
Abbildung 4-21: Einfluss der Ausbaumaßnahmen mit den neuen Material auf den NPV.....	92
Abbildung 4-22: Verfallskurve der gewählten Alternative B7	94
Abbildung 4-23: Entwicklung der Einsparung der Unfallkosten als Funktion der Straßenbreite	97
Abbildung 4-24: Entwicklung der Straßenutzerkosten je Fahrzeugtyp für die gewählte Alternative B7	99
Abbildung 5-1: Strategiedefinition.....	102
Abbildung 5-2: Entwicklung des Verkehrsaufkommens zwischen 2006 und 2025...	108
Abbildung 5-3: Verfallskurven: Nationale asphaltierte Straßen sehr schlechter Zustand (NPRBC).....	109
Abbildung 5-4: Verfallskurven: ungebundene Nationale Straßen (NUR-1 - Diagramm 1)	111
Abbildung 5-5: Verfallskurven: ungebundene Provinz- und Departement- Straßen PDUR.....	113
Abbildung 5-6: Vergleich der mittleren IRI der verschiedenen Analysen.....	120
Abbildung 5-7: Unbefahrbare ungebundene Straße in der Regenzeit [57]	122
Abbildung 5-8: Gesperrte Kiesstraße nach einem Starken Regen [57].....	123
Abbildung 5-9: Entwicklung der Transportkosten je Straßentyp und je Entfernung [71]	123
Abbildung 5-10: Straßenabschnitt vor und nach der Asphaltierung	126
Abbildung 5-11: Verfallskurven der Alternativen UN3 und UN11 (ungebundene Nationale Straßen-Abschnitt1).....	127
Abbildung 5-12: Verfallskurven der Alternativen UN3 und UN11 (ungebundene Nationale Straßen-Abschnitt2).....	128
Abbildung 5-13: Verfallskurven der Alternativen UN3 und UN11 (ungebundene Nationale Straßen-Abschnitt3).....	128
Abbildung 5-14: Entwicklung der Baulastträgerkostenanstieg als Funktion des NPV	129

Abbildung 5-15: Baukosten und Straßennutzerkosten einer zehnjährigen Bauplanung	131
Abbildung 5-16: Baukosten und Straßennutzerkosten einer fünfzehnjährigen Bauplanung	132
Abbildung 5-17: Entwicklung des NPV als Funktion des Baulastträgerkosten je Variante (Länge: 10km)	138
Abbildung 5-18: Nationales Straßennetz Kameruns und Streckenkorrespondenz	140
Abbildung 5-19: Reihenfolge der Asphaltierung der verschiedenen Strecken.....	141
Abbildung 5-20: Verfallskurven der empfohlenen Erhaltungsalternativen (NPR)	146
Abbildung 5-21: Verfallskurven der empfohlenen Erhaltungsalternativen (PPR und DPR)	146
Abbildung 5-22: Verfallskurven der empfohlenen Erhaltungsalternativen (NUR und PDUR)	147
Abbildung 5-23: Entwicklung der jährlichen Kosten der verschiedenen Analysevarianten (NUR)	151
Abbildung 5-24: Vergleich der jährlichen Straßennutzerkosten der verschiedenen Analysevarianten (NUR)	152
Abbildung 5-25: Vergleich der Gesamtstraßennutzerkosten der verschiedenen Analysevarianten (NUR)	153
Abbildung 5-26: Vergleich der Gesamtbaukosten der verschiedenen Analysevarianten (Gesamtstraßennetz)	154
Abbildung 6-1: Aufgabenteilung zwischen den verschiedenen Teilnehmern am Straßensektor [57]	160
Abbildung 6-2: mögliches Verwaltungssystem der Straßenfinanzierung.....	161
Abbildung 6-3: Grobschema eines in Entwicklungsländern einsetzbaren PMS.....	162

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Bahnverkehr. Quelle : Régie Nationale des Chemins de Fer	8
Tabelle 2-2:	Entwicklung des gesamten Straßennetzes und der asphaltierten Straßen von 1970 bis 2003.....	10
Tabelle 2-3:	Länge des klassifizierten Straßennetzes in Kamerun von 2003, Angaben in km [50]	10
Tabelle 2-4:	Entwicklung des Fahrzeugparks zwischen 1994 und 2000 [50]	12
Tabelle 2-5:	Tropische Böden für Straßenbauzwecke in Kamerun [26]	16
Tab. 2-6:	Entwicklung des Verwaltungs- und Investitionsbudgets des Bauministeriums von 1995 bis 2001 (in Million US \$) [50]	18
Tabelle 3-1:	Programmstruktur von HDM-4 [51].....	27
Tabelle 3-2:	Darstellung von Straßennutzerkosten [60]	28
Tabelle 3-3:	justierte SNP- Modellkoeffizienten	29
Tabelle 3-4:	Lagenkoeffizienten der verschiedenen Fahrbahnbefestigungen [41]	30
Tabelle 3-5:	Straßenzustandsmerkmale des Fahrkomforts für asphaltierte Straßen [25].....	33
Tabelle 3-6:	Defaultwerte der Dicke der Kiesdeckschicht in mm [25]	37
Tabelle 3-7:	Straßenzustandsmerkmale des Fahrkomforts für ungebundene Straßen [25].....	37
Tabelle 3-8:	Deckschichtenmaterialeigenschaften der ungebundenen Straßen [25] ...	38
Tabelle 3-9:	Werte der Koeffizienten (Relation zwischen VOC und IRI)	48
Tabelle 3-10:	Barwertberechnung für die Ermittlung des internen Zinsfußes	55
Tabelle 3-11:	Beispiel des Diskontieren der Transportkosten einer Straße	56
Tabelle 4-1:	Geometrie des Straßenabschnittes Douala – Yaounde	59
Tabelle 4-2:	Gebundener Oberbau des Straßenabschnittes Douala – Yaounde.....	59
Tabelle 4-3:	Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und des Verkehrsaufkommens auf der Straßenverbindung Douala-Yaounde.....	61
Tabelle 4-4:	Fahrzeugtechnische Daten	62
Tabelle 4-5:	Fahrzeugbetriebskosten [50].....	62
Tabelle 4-6:	Angaben für Klimabedingungen in Douala und in Yaounde	63
Tabelle 4-7:	Vordefinierte Feuchtigkeitsklassen [45].....	64

Tabelle 4-8:	Vordefinierte Temperaturklassen [45]	64
Tabelle 4-9:	Geotechnische Eigenschaften der Bodenprobe toniger Sand und Puzzolan	67
Tabelle 4-10:	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	67
Tabelle 4-11:	Baukosten von ungebundenen Tragschichten in Douala.....	72
Tabelle 4-12:	Eingreifkriterien der Unterhaltungsmaßnahmen der asphaltierte Straßen	75
Tabelle 4-13:	Vordefinierte und definierte vorbereitende Arbeiten und Verbesserungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen und die Einheitskosten nach kamerunischen Bedingungen	75
Tabelle 4-14:	Vordefinierte und definierte Wartungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen sowie die Eingreifkriterien und die Einheitskosten nach kamerunischen Bedingungen.....	76
Tabelle 4-15:	Erhaltungsalternativen der beiden Abschnitte für die existierende Straße (7m)	78
Tabelle 4-16:	Ausbaualternativen (Verbreiterung:3m) der beiden Abschnitte (10m)	79
Tabelle 4-17:	Ausbaualternativen (Streifenhinzufügung:7m) der beiden Abschnitte (14m)	80
Tabelle 4-18:	Die SNP-Werte des verbreiterten Straßenteils und der hinzugefügten Straßenstreifen	82
Tabelle 4-19:	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen des Abschnittes Douala – PK 86.....	90
Tabelle 4-20:	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen des Abschnittes PK 86 - Yaounde	91
Tabelle 4-21:	Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative B7 (Abschnitt Douala – PK 86).....	93
Tabelle 4-22:	Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative B7 (Abschnitt PK 86 – Yaounde).....	93
Tabelle 4-23:	Unfallrate und Unfallkosten.....	95
Tabelle 4-24:	Untersuchungen des Abschnittes Douala – PK 86 mit Unfallkosten .	96
Tabelle 4-25:	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen des Abschnittes PK 86 – Yaounde mit Unfallkosten.....	96
Tabelle 5-1:	Repräsentativabschnitte des vorrangigen Straßennetzes Kameruns (Cameroon priority network).....	103

Tabelle 5-2:	Prozentualer Anteil jedes Fahrzeugtyps an der gesamten Verkehrsbelastung.....	104
Tabelle 5-3:	Zusammenfassung der Erhaltungsstrategien der asphaltierten Straßen	105
Tabelle 5-4:	Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen sowie Einheitskosten der ungebundenen Straßen	105
Tabelle 5-5:	Zusammenfassung der Erhaltungsstrategien der ungebundenen Nationalen Straßen.....	106
Tabelle 5-6:	Zusammenfassung der Erhaltungsstrategien der ungebundenen Provinz und Departement Straßen	107
Tabelle 5-7:	Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen NPRBC.....	110
Tabelle 5-8:	Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt 1- Diagramm1)	112
Tabelle 5-9:	Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtbaukosten in US \$ der verschiedenen Alternativen (PDUR)	114
Tabelle 5-10:	Optimale Maßnahmenstrategien (höchster NPV) ohne Budgetbegrenzung für die Erhaltung des gesamten Netzes in gutem Zustand.....	115
Tabelle 5-11:	Vorgeschlagene Maßnahmenstrategien ohne Budgetbegrenzung für die Erhaltung des gesamten Netzes in gutem Zustand.....	116
Tabelle 5-12:	Wirtschaftliche Strategien sowie Gesamtkosten der Straßenunterhaltung und Instandsetzung mit Budgetbegrenzung auf 62 %	117
Tabelle 5-13:	Wirtschaftliche Strategien sowie Gesamtkosten der Straßenunterhaltung und Instandsetzung mit Budgetbegrenzung auf 80 %	118
Tabelle 5-14:	Optimale Strategien sowie Gesamtkosten der Straßen- Unterhaltung und Instandsetzung mit Maximierung des Straßenzustandes	119
Tabelle 5-15:	Maßnahmenkatalog und Einheitskosten der verschiedenen Neubau- und Erhaltungsmaßnahmen.....	125
Tabelle 5-16:	Schichtdicke jede Strategiemaßnahme	126
Tabelle 5-17:	Verschiedene Strategiemaßnahmen zur Lösung des Problems der schweren Befahrbarkeit	127
Tabelle 5-18:	Vergleich der Kostenentwicklung der Alternativen UN3 und UN11	130
Tabelle 5-19:	Kostenvergleich der Bauzeit 10 und 15 Jahre	133

Tabelle 5-20:	Verschiedene Verkehrsbelastungen, Klimazonen und landwirtschaftliche Produkte	134
Tabelle 5-21:	Zusammenstellung der verschiedenen Streckenkombinationen	134
Tabelle 5-22:	Hauptagrarpunkte Kameruns und betroffene ungebundene Nationale Straßennetz	135
Tabelle 5-23:	Zusammenfassung der Berechnung der Wirkung der verderblichen Agrarprodukte je Klimazone (je km)	136
Tabelle 5-24:	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen (Straßenlänge: 10 km)	137
Tabelle 5-25:	Verschiedene Straßenabschnitte des ungebundenen Nationalen Netzes	139
Tabelle 5-26:	Reihenfolge und volkswirtschaftliche Kosten infolge der Asphaltierung (Betrachtungsperiode: 20 Jahre)	142
Tabelle 5-27:	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Indikatoren der vorgeschlagenen Alternativen	145
Tabelle 5-28:	Vorgeschlagene Bauplanung des Gesamtnetzes (von 2006 bis 2025)	149
Tabelle 6-1:	Geschätzter jährlicher Kraftstoffverbrauch und Kraftstoffbesteuerung in Kamerun [35]	158

1 Einführung

Die Infrastruktur ist für jedes Land, besonders aber für Entwicklungsländer, ein wichtiges Instrument zur Bekämpfung der Armut. Hierzu ist es nötig, die vorhandenen Mittel optimal einzusetzen. Durch die Wirtschaftskrise, die fast alle afrikanischen Länder betroffen hat [14], werden notwendige Maßnahmen aber häufig schlecht oder gar nicht durchgeführt und zudem erfolgen häufig Maßnahmen, deren Geld an anderer Stelle sinnvoller eingesetzt werden könnte. Zudem steigt das Transportaufkommen stetig an und als Folge der immer älter werdenden Infrastruktur steigen auch die benötigten Finanzmittel im Transportbereich. Ohne internationale Hilfe ist kaum ein afrikanisches Land in der Lage, seine Einrichtungen des Transportsektors zu erhalten. Mangels Finanzmitteln, ausreichendem Fachpersonal und geeigneter Ausrüstung sind viele Entwicklungsländer nicht in der Lage, nicht nur für ihr Erd-, Schotter- und Kiesstraßennetz, sondern auch für ihr Asphaltstraßennetz eine vernünftige Instandsetzung oder eine periodische Unterhaltung durchzuführen, wie aus einer Studie der Weltbank [40] hervorgeht. Die gleiche Studie hat gezeigt, dass jeder in die Straßenunterhaltung investierte Dollar zu einem Fahrzeugbetriebskostengewinn von drei Dollar führt. Die Kosten einer schlechten, verspäteten oder unterlassenen Straßenunterhaltung sind ca. fünfmal so hoch wie die Kosten einer guten und rechtzeitigen Unterhaltung [14].

Es gilt, die in den Straßen investierten Vermögenswerte – in Kamerun handelt es sich um eine Größenordnung von nahezu 4,8 Mrd. US \$ - in ihrer Substanz verlässlich zu bewahren und den Straßennutzern Verkehrswege bereitzustellen, die jederzeit sicher sowie kosten- und energiesparend benutzt werden können.

Beträge dieser Größenordnung erfordern sehr verantwortungsbewusste Dispositionen. Entscheidungen sollten weitgehend nach rationalen Kriterien und möglichst wenig auf Grund subjektiver Intuition getroffen werden. Managementsysteme der Straßenerhaltung dienen als Grundlage für derart rationale Handlungsentscheidungen [7].

Angesichts dieser Erfordernisse müssen Untersuchungen zur Einführung von Managementsystemen für den Straßenbau in Entwicklungsländern dringend berücksichtigt und fortgesetzt werden. Die wichtigsten Bestandteile eines solchen Managements des Straßenbaus sind Beiträge zur Entscheidungsfindung in Fragen der

- Auswahl und Dringlichkeitsreihung erhaltungsbedürftiger Straßenabschnitte,
- technisch-wirtschaftlichen Maßnahmeoptimierung im Hinblick auf die Auswahl von Baustoffen und Bauweisen, Bemessungs-, Verstärkungs- und Erhaltungsstrategien und baubetrieblichen Planungsalternativen,
- Bestimmung des Finanzbedarfs unter bestimmten Strategie- und Zielvorgaben [7].

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mit Hilfe des computergestützten Rechenmodells HDM-4, Untersuchungen zur Einführung eines Managementsystems in Entwicklungsländern am Beispiel Kamerun durchzuführen.

Hierzu wird zunächst im Kapitel 2 eine allgemeine Einführung zum Land Kamerun und dessen Straßenbau gegeben. Das Kapitel 3 behandelt die Anwendungsmöglichkeiten von Managementsystemen für den Straßenbau und im speziellen die der HDM-4 Software. Im Kapitel 4 werden ein Straßenbauprojekt zwischen Douala (wirtschaftliche Hauptstadt Kameruns) und Yaounde (politische Hauptstadt Kameruns) mit Hilfe von HDM-4 untersucht und die Kosten und Rentabilität dieser Fernverkehrsstraße abgeschätzt. Auf der Grundlage der Projektanalyse werden im Kapitel 5 die Auswirkungen unterschiedlicher Erhaltungsstrategien und die Folgen eines begrenzten Budgets in einer Strategieberatung auf das vorrangige Straßennetz Kameruns analysiert. Diese Erkenntnisse führen letztendlich in Kapitel 6 zur Entwicklung und Umsetzung eines Straßenmanagementsystems in Kamerun.

2 Das Land Kamerun

2.1 Geographische Lage und Topografie

Kamerun liegt am Schnittpunkt zwischen Zentral- und Westafrika, zwischen dem 8. und 16. Längengrad Ost und dem 2. und 13. Breitengrad nördlich des Äquators. Mit einer Fläche von 475.442 km² ist es etwa anderthalb mal so groß wie Deutschland. Die größte Nord-Süd-Ausdehnung beträgt rund 1200 km vom Atlantik bis zum Tschad-See und an seiner breitesten Stelle misst das Land von Osten nach Westen etwa 800 km.

Kamerun grenzt im Nordosten an den Tschad, im Osten an die Zentralafrikanische Republik, im Süden an Kongo, Gabun und Äquatorialguinea. Der Nordwesten und Westen bilden die Staatsgrenze zu Nigeria. Im Südwesten öffnet sich Kamerun zum Golf von Guinea mit einer rund 350 km langen Atlantikküste (Abbildung 2-1).

Durch seine Nord-Süd-Ausdehnung durchschneidet Kamerun die verschiedensten Vegetations- und Klimazonen, vom regenreichen Küstentiefland mit riesigen Urwäldern über die zentrale Hochebene bis hin zu den halbwüstenartigen Trockenzone des Nordens. Aufgrund dieser geographischen Vielfalt trägt Kamerun auch den Beinamen „*Miniaturafrika*“ [13], da sich hier in einem einzigen Land fast alle unterschiedlichen Landschaftsbilder und Lebensräume Afrikas gegenüber stehen.

Das Relief Kameruns ist in drei Hauptzonen gegliedert:

- Das südliche Hochland, eine Hochebene in der tropischen Regenwaldzone; dort herrscht feuchttropisches Klima.
- Das westliche Hochland und das zentrale Adamaouaplateau mit hohen Gebirgszügen und Vulkanmassiven; gemäßigtes Klima.
- Die nördlichen Ebenen und Gebirge mit der Bénoué-Ebene, der Waza-Ebene bzw. dem Tschad-Becken und den Mandara-Bergen. Sehr heißes Klima während der langanhaltenden Trockenperiode, kurze und heftige Regenzeit.

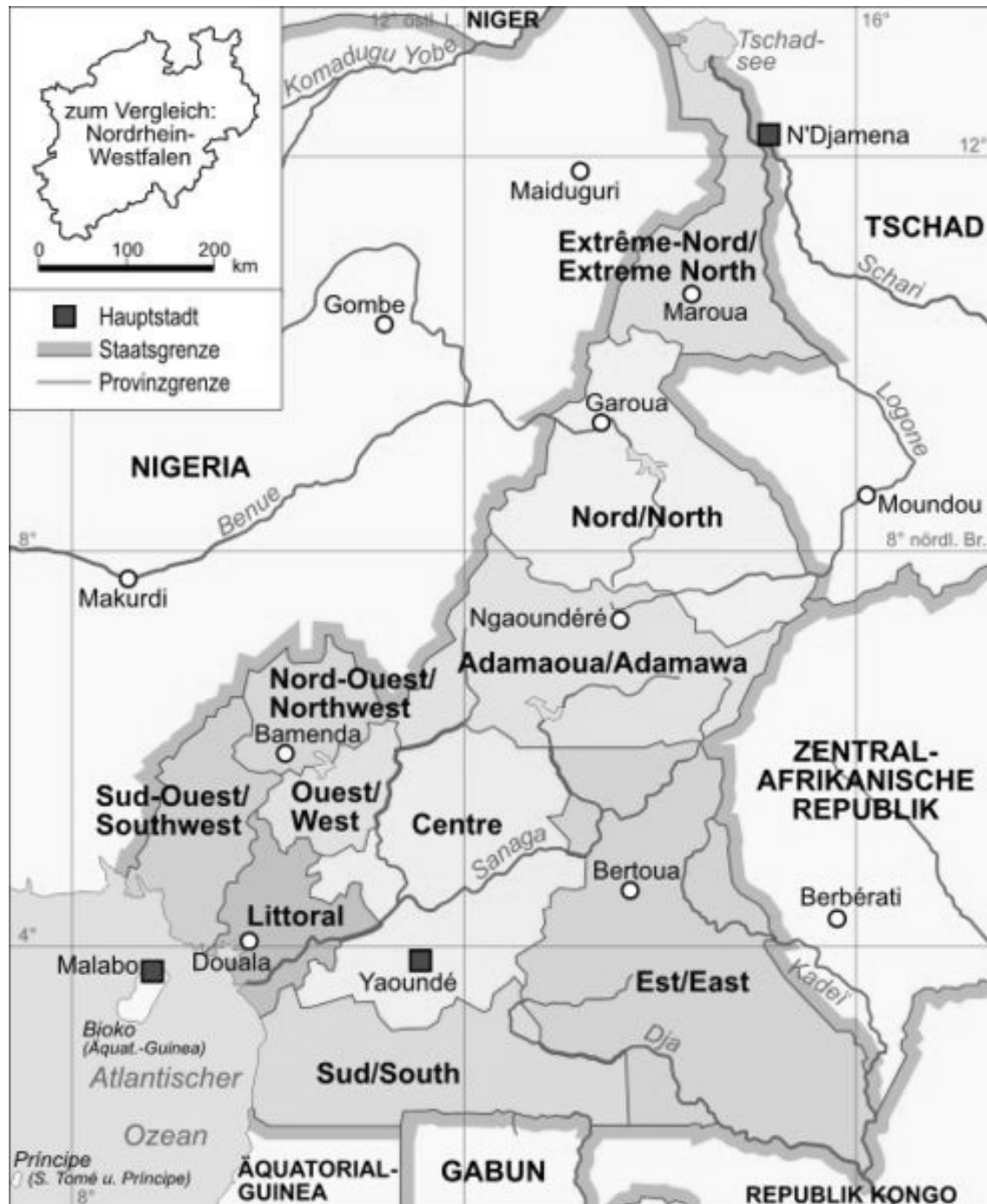


Abbildung 2-1: Politische Karte von Kamerun (Quelle: Wikipedia.org, Domenico-de-ga)

2.2 Klima

So unterschiedlich die geographischen Gegebenheiten Kameruns sind, so sehr unterscheiden sich auch die einzelnen Klimazonen.

Von der Halbwüste am Tschadsee im Norden über Bergmassive und tropische Regenwälder bis zur Atlantikküste bietet das Land eine Reihe von klimatischen

Gegensätzen. Das milde Klima an der Atlantikküste wird von feuchtheißen Tropenregionen abgelöst. Die zwar tropischen aber gemäßigten, fruchtbaren Zonen des Westens gehen in die von den feuchten Südwinden abgeschirmten Regionen des Ostens über. Das Klima im Norden wird von den Ausläufern der trockenen Sahel-Zone bestimmt.

Im tropischen Afrika gibt es keine markanten jahreszeitlichen Temperaturdifferenzen. Südlich der Sahara wird das Jahr klimatisch eingeteilt nach den periodisch schwankenden Niederschlägen. Der Rhythmus im Jahresverlauf wird nach Regenzeiten und Trockenzeiten bestimmt.

Die Temperaturen in Kamerun sind allgemein hoch und variieren nur wenig während des Jahresverlaufes. Von Süden nach Norden steigen die Durchschnittstemperaturen an. So hat z.B. Yaounde (Zentrum) eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 23,5° C, dagegen haben Garoua und Kousseri im Norden bereits 28° C. In Dschang auf 1400 m Höhe liegen sie im Durchschnitt bei 20° C.

Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen, auch die Tag- und Nacht-Differenzen, sind im Süden erheblich geringer als im Norden. Die Sonnenscheindauer verhält sich entsprechend. Douala (Littoral) hat durchschnittlich 1023 Sonnenscheinstunden im Jahr, Yaounde bereits 1841 und Garoua sogar 2969 Stunden.

Die Niederschlagsmenge wird durch die Entfernung zum Meer, die Höhenlage, und den Breitengrad bestimmt. Die Niederschläge verringern sich von der Küste in das Landesinnere und von Süd nach Nord, verstärken sich jedoch mit der Höhenlage. Zum Beispiel fallen in Douala jährlich 4004 mm Niederschlag (260 Regentage), in Kousseri (Extreme Nord) 630 mm (64 Regentage), in Yaounde 1456 mm und in der Region Bamenda (Nordwesten) 2692 mm (160 Regentage) [23].

Die Luftfeuchtigkeit folgt diesen Schwankungen, nimmt also von Süden nach Norden ab. Während im Jahresmittel in Douala 83% Luftfeuchtigkeit herrschen, sinkt diese in Kousseri (Extreme Nord) auf 47% ab, während der Trockenzeit sogar auf 10% .

2.3 Bevölkerung und Raumplanung

Mit ca. 16,6 Million Einwohnern und somit 35,7 Einwohner / km² ist Kamerun das am dichtesten besiedelte Land in Zentralafrika. Die durchschnittliche Zuwachsrate liegt bei ca. 2,1 %. Die Bevölkerungsverteilung in Kamerun ist sehr ungleichmäßig. Mehr als zwei Drittel der Bevölkerung teilen sich etwa ein Drittel der Landesfläche. Am dichtesten bevölkert ist das westliche Hochland (96 Einwohner / km²) und am geringsten der Osten (5 Einwohner / km²).

In den dicht besiedelten Gebieten, speziell im Bamileke-Land (Westen) und in der nördlichen Region der Mandara-Berge, findet man hauptsächlich Streusiedlungen. Jede Familie bewohnt ein Stück Land, das sie kultiviert. Nur die Oberhäupter gründen Gemeinden aus mehreren Familienverbänden. In Regionen mit einer mittleren

Bevölkerungsdichte verteilen sich Dörfer und Weiler über das ganze Gebiet. Dagegen konzentrieren sich in den dünn besiedelten Zonen die Siedlungen entlang der Straßen und Pisten.

Ein großes Problem für die Bevölkerung Kameruns ist die zunehmende Landflucht. Die Bewohner der ländlichen Gebiete wandern in die großen Städte ab und erhoffen sich dort Arbeit und Geld. Anschaulich wird die Dimension der Landflucht in folgenden Zahlen: Im Jahr 1976 lebten 28 % der Kameruner in den Städten. 1992 ist dieser Anteil auf 40 % und im Jahr 2002 auf 49 % gestiegen.

2.4 Wirtschaftliche Struktur

Die wirtschaftliche Lage der meisten Entwicklungsländer hat sich in den letzten Jahren verschlechtert. Diese Länder sind durch starke Bevölkerungszunahme vielfach in immer geringerem Maße in der Lage, die grundlegenden Bedürfnisse der Bevölkerung zu befriedigen. Auch Entwicklungsländer, deren Bevölkerung nicht direkt Hunger leidet, sind wirtschaftlich nicht in einer Lage, auf dem internationalen Markt zu bestehen. Die Wirtschaftsmacht der Industriestaaten und die Uneinigkeit der rohstoff erzeugenden Entwicklungsländer führen dazu, dass bei gleichbleibendem oder sogar wachsendem Exportumfang die Exporterträge sinken.

Kamerun hat in wirtschaftlicher Hinsicht eine Schlüsselstellung im Wettbewerb mit seinen Nachbarländern. Die Staaten Tschad, Zentralafrikanische Republik und Äquatorial Guinea sind auf die Transportverbindungen Kameruns angewiesen. So sieht Kamerun seine wirtschaftspolitische Rolle als Schnittpunkt zwischen West- und Ostafrika.

Obwohl sich die Regierung Kameruns zunehmend um die Industrialisierung des Landes bemüht, bildet die Landwirtschaft (einschl. der Forstwirtschaft und Fischerei) noch immer den bedeutendsten Sektor der kamerunischen Wirtschaft und die Grundlage der Gesamtwirtschaft. Die Agrarwirtschaft bildet für etwa 80% der Bevölkerung die Erwerbs- und Existenzgrundlage und trägt rund 30% zum Bruttoinlandsprodukt und ca. 35% zu den Ausfuhrerlösen bei. Eine Selbstversorgung des Landes mit eigenen Anbauprodukten ist gesichert. Große Gebiete des Landes sind sehr fruchtbar und insgesamt werden rund 15% der Gesamtfläche Kameruns als Ackerland genutzt.

Kamerun verfügt im Vergleich zu seinen Nachbarländern über einen leistungsstarken Industriesektor, der sich jedoch vorwiegend am lokalen Markt orientiert. Der Export spielt in der verarbeitenden Industrie nur eine geringe Rolle. Bedeutend ist hier nur die Ausfuhr von Aluminium und Aluminiumerzeugnissen.

Der seit Mitte der 80er Jahre herrschende Wirtschaftsabschwung und die daraus resultierende Finanzkrise des Landes wirkten sich auch auf den industriellen Sektor Kameruns negativ aus. Wann das Ende dieser Rezession erreicht sein wird, ist gegenwärtig nicht vorherzusagen.

Für das Jahr 2004 hat Kamerun ein Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Einwohner von 740 US-\$. Das Land hat zwischen 1990 und 1998 ein jährliches Wachstum des BIP von 0,6% und eine jährliche Inflationsrate von 6,1%. Die Auslandsschulden Kameruns betrugen 1998 9.829 Mio. US-\$, die Schulden 119,4% des BIP, der Schuldendienst 22,3% des Exports, und die empfangene Entwicklungshilfe 424 Mio. US-\$.

Die aktuelle wirtschaftliche Lage des Landes gibt Anlass zur Besorgnis. Es fehlt der Regierung an einer klar ersichtlichen Wirtschaftspolitik und der Staat ist nahezu bankrott. Seit 1987 sank das reale Bruttosozialprodukt (BSP) jährlich um durchschnittlich 5%. Erst 1995 konnte wieder ein Zuwachs von 3,6% verzeichnet werden. Weiterhin leidet der Staat unter einer chronischen Einnahmeschwäche. Um die Einnahmen zu steigern, wurden Abgaben auf wichtige Exportmittel erhoben. Dies wirkt auf die Produzenten demotivierend. Dadurch wurden die positiven Effekte der Währungsabwertung im Januar 1994 verringert. Die Abwertung sollte dazu dienen, den Export anzukurbeln und die verteuerten Importe zurückzudrängen.

2.5 Verkehrsinfrastruktur

Es besteht eine Rückkopplung zwischen der Verkehrsinfrastruktur und dem wirtschaftlichen Entwicklungsstand eines Landes. Die Verkehrswege sind Grundlage der Mobilität und der Kommunikation sowie der Entwicklung. Der Zugang zu leistungsfähigen Transportsystemen ist heute mehr als je zuvor eine Voraussetzung für die Überwindung von Armut, die Integration in die Weltwirtschaft und die Verbesserung der Lebensbedingungen in vielen Entwicklungsländern.

Der Bau von Straßen in Entwicklungsländern, deren ländlicher Raum meistens durch weiträumige, dünn besiedelte und wenig erschlossene Regionen gekennzeichnet ist, besitzt eine andere Dimension verglichen mit Industrienationen. Während in den Industrieländern der Schwerpunkt auf Bedarfsdeckung und Wirtschaftlichkeit liegt, soll durch den Bau von Straßen in Entwicklungsgebieten Entwicklungsarbeit geleistet werden. Dabei muss auf die unterschiedlichsten Verhältnisse zwischen den sozialen Gruppen oder Schichten, auf wirtschaftliche und politische Voraussetzungen, den Stand und Fortschritt bereits eingeleiteter Entwicklungen und die Umwelt Rücksicht genommen werden. Die Straße bleibt, verglichen mit anderen Transportwegen in Kamerun, wie in den meisten Entwicklungsländern der Hauptverkehrsweg sowohl für den Güter- als auch Personenverkehr.

2.5.1 Die Straßen

Da die vorhandenen Straßen in Kamerun die Grundlage für diese Arbeit darstellen, sind sie ausführlich im Kapitel 2.6 beschrieben.

2.5.2 Die Eisenbahn

Die Geschichte der Eisenbahn geht auf die deutsche Verwaltungszeit (1884 – 1914) zurück. Es ist deshalb notwendig, einen Blick in die Vergangenheit zu werfen, denn die jetzigen Pläne und Realisierungen sind nur die Erneuerung und Verwirklichung von kolonialen Projekten. Die Deutschen finanzierten von 1901 bis 1914 die längste Strecke, von Douala nach Eseka, die die Kameruner in Zwangsarbeit mitbauen mussten [56]. Wegen des Kriegausbruchs konnten weitere Pläne nicht umgesetzt werden. Die Franzosen nahmen den Ausbau des geplanten Eisenbahnnetzes bis Yaounde von 1926 bis 1961 wieder auf. Im Jahre 1951 gründeten sie die „*Régie des Chemins de fer du Cameroun*“ (REGIFERCAM).

Kurz nach der Unabhängigkeit (1. Januar 1960) baute die kamerunische Regierung die Strecke Douala – Kumba, die Ost- und Westkamerun verbinden sollte. 1974 wurde die Trans-Kamerun-Bahn, die Douala mit Ngaoundere über Edea, Eseka, Makak, Ngumu, Yaounde und Belabo verbindet, fertig gestellt. Ihr Ausbau bis N'djamena (Republik Tschad) ist noch geplant und soll vor allem die wirtschaftliche Entwicklung des Hinterlandes fördern. So erstreckt sich das gesamte Eisenbahnnetz Kameruns über 1103 km.

CAMRAIL (*Cameroon National Railways*) hat REGIFERCAM aufgrund der Eisenbahnübergabekonzession zwischen der Regierung und der französischen und südafrikanischen Gesellschaft ersetzt. Seit dem 1. April 1999 wird die Verwaltung der kamerunischen Eisenbahn durch CAMRAIL gewährleistet.

Die Tabelle 2-1 zeigt die Entwicklung des Bahnverkehrs zwischen 1990 und 1999.

Tabelle 2-1: Bahnverkehr. Quelle : Régie Nationale des Chemins de Fer

		Jahr									
Kameruns Bahnverkehr	Einheit	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Netz											
Netzlänge	Km	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.006	1.016	1.016	1.016	1.016
Personenverkehr											
Reisende	Tausend von Reisenden	2.379	nicht bekannt	2.349	1.944	1.752	1.728	1.675	1.487	1.250	1.283
Reisendekilometer	Millionen von Reisekilometern	442	nicht bekannt	515	398	334	316	301	306	283	295
Warenverkehr											
Befördertes Gesamtgewicht	Tausend Tonnen	1.341	nicht bekannt	1.278	1.206	1.206	1.452	1.138	1.464	1.426	1.392
Tonnenkilometer	Millionen Tonnen x km	684	nicht bekannt	691	592	756	812	607	869	850	888
Einnahmen											
Personenverkehr	Milliarde FCFA	4,777	nicht bekannt	5,158	4,076	3,282	3,283	3,871	3,245	3,147	4,027
Güterverkehr	Milliarde FCFA	16,627	nicht bekannt	15,132	13,342	18,330	21,126	16,805	22,700	22,913	25,877

Das Eisenbahnnetz wurde seit 1994 wegen Erhaltungsmängeln zurückgebaut. Dies führt zu weniger Transporten auf der Schiene und zu einer Verlagerung auf die Straßen, die somit eine noch größere Bedeutung erlangen.

2.5.3 Der Luftverkehr

Die staatliche Fluggesellschaft *Cameroon Airlines* (CAMAIR) ist zuständig für den Lufttransport. Für den Lufttransport stehen drei internationale Flughäfen zur Verfügung: Douala, Yaounde-Nsimalen und Garoua. Im nationalen Bereich sind noch elf weitere Flughäfen vorhanden.

2.5.4 Die Häfen

Mit einer Kapazität von sieben Millionen Tonnen ist Douala der größte Hafen Kameruns (95 % der Tonnage des Landes). Wegen der Zunahme des Warenumschlages wird er vergrößert. Neben Douala gibt es noch drei weitere Seehäfen, Tiko, Limbe und Kribi. Schließlich existiert noch ein Flusshafen in Garoua.

Alle Häfen werden vom *Port Autonome de Douala* (PAD), einem staatlichen Unternehmen, verwaltet. Für den Transport wurde die staatliche Gesellschaft *Cameroon Shipping Lines* (CAMSHIP) gegründet.

2.6 Das kamerunische Straßennetz

2.6.1 Straßennetzentwicklung

Das Straßennetz Kameruns erreicht heute eine Gesamtlänge von 67.000 km. Bis 1980 waren fast alle Straßen voller Risse und Löcher, so dass der Personenverkehr sehr problematisch war. Für 200 km benötigte ein Autofahrer über zehn Stunden, während der Regenzeit war die Fahrzeit noch länger. Seit 1981 wurden neue Nationalstraßen gebaut. Im Jahr 2003 waren etwa 4547 km der Verkehrswege Asphaltstraßen, und ihr Ausbau schreitet weiter voran. Da die Mehrheit der Bevölkerung in ländlichen Regionen lebt, soll erforscht werden, wie der Waren- und Personenverkehr verbessert werden kann. Außerdem ist die Verbindung zwischen allen Regionen noch nicht vollständig, so dass bestimmte Regionen, wie die Ostregion, sich benachteiligt fühlen. Angesichts der geringen Zahl von Straßen lässt sich folgern, dass Kamerun vor einem erheblichen Entwicklungsproblem steht. Trotzdem hat Kamerun im Vergleich zu den zentralafrikanischen Ländern ein relativ dichtes und gut ausgebautes Straßennetz. Die Tabelle 2-2 zeigt die Entwicklung des kamerunischen Straßennetzes.

Tabelle 2-2: Entwicklung des gesamten Straßennetzes und der asphaltierten Straßen von 1970 bis 2003

Jahr	1970	1980	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Länge des Asphaltstraßennetzes [km]	1082	2248	3588	3739	3719	3719	3719	3804	3809	4010	4010	4010	4010	4209	4413	4547
Länge des Gesamtstraßennetzes [km]	nb	nb	65168	65130	65130	65130	65130	66742	66742	66742	66742	66742	nb	nb	nb	67000*

(*): Schätzwert, nb: nicht bekannt

Das „Programme Sectoriel du Transport“ (PST), das im Jahr 1995 geschaffen wurde, hat ein vorrangiges Netz definiert, für dessen Unterhaltung die Regierung im Wesentlichen die Mittel zur Verfügung gestellt hat (s. Abbildung 2-2). Dieses Netz, das einer wirtschaftlichen Forderung nach Rentabilität und Entwicklung des ländlichen Raumes entspricht, umfasst die gesamten asphaltierten Straßen und 44% des klassifizierten Erd-, Kies-/Schotternetzes. Es handelt sich also um eine Gesamtzahl von ungefähr 14250 km vorrangig zu unterhaltender Straßen.

Die statistischen Angaben über klassifizierte Straßentypen und -längen sowie Befestigungsarten für das Jahr 2003 sind in Tabelle 2-3 zusammengestellt. Die nicht asphaltierten Straßen spielen im Gegensatz zu den Industrieländern eine genauso wichtige Rolle wie die asphaltierten.

Tabelle 2-3: Länge des klassifizierten Straßennetzes in Kamerun von 2003, Angaben in km [50]

Straßentyp	Deckentyp		Gesamte Länge
	Asphalt	Erde, Schotter/Kies	
Nationalstraßen	3386	3778	7164
Provinzstraßen	786	3463	4249
Departementstraßen	375	2462	2837
Landstraßen	-	12110	12110
Gesamte Länge des klassifizierten Straßennetzes	4547	21813	26360
Vorrangiges Netz (ohne Landstraßen)	4547	9703	14250

Die derzeitige Straßendichte hinsichtlich des vorrangigen Netzes liegt bei 2 km für 1000 Einwohner und 57 km für 1000 km². Die ausgewiesenen Transitstrecken umfassen 6080 km. Dieses sind sowohl asphaltierte Straßen als auch Erd-, Kies- und Schotterstraßen.

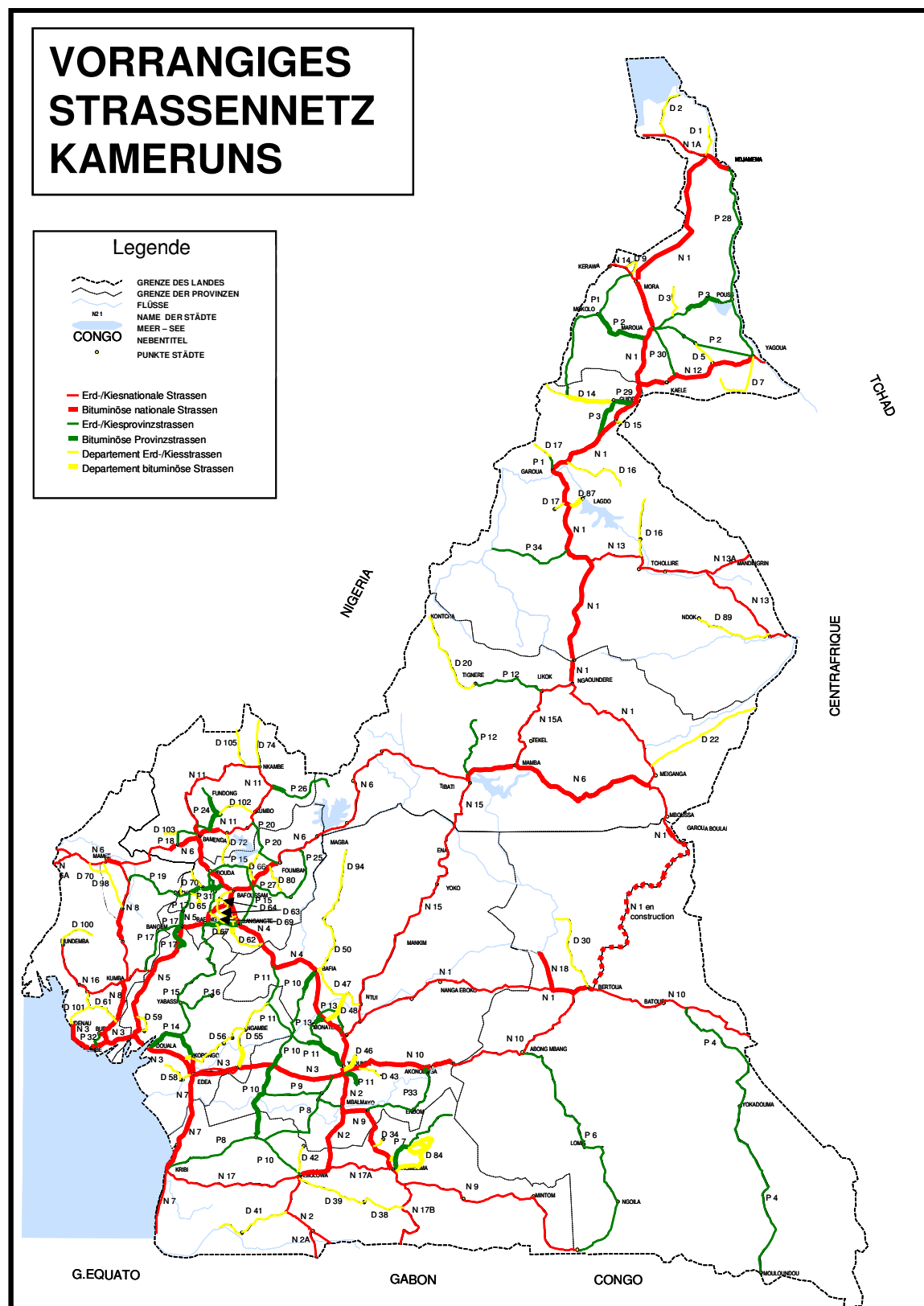


Abbildung 2-2: Vorrangiges Straßennetz Kameruns [50]

2.6.2 Straßenbeanspruchung

Die Struktur der angemeldeten Fahrzeuge war im Jahr 2000: 84% Pkws und leichte Nutzfahrzeuge, 7% Lkws, 7% Minibusse und Busse und 2% Holztransporter. Der Fuhrpark ist alt. Mehr als 90% der angemeldeten Fahrzeuge sind gebraucht, 70% sind mehr als 10 Jahre alt, und es gibt Fahrzeuge, die mehr als 30 Jahre alt sind. Die Tabelle 2-4 zeigt die Entwicklung des Fahrzeugparks zwischen 1994 und 2000.

Tabelle 2-4: Entwicklung des Fahrzeugparks zwischen 1994 und 2000 [50]

Fahrzeugtypen	Jahr						
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Gegliedelter LKW	3000	2554	2723	2896	3070	3087	3106
Minibus und Bus	4600	7158	7366	7586	8088	9313	10725
mittlerer LKW, LKW und Holztransporter	10500	10629	10814	11002	11118	11278	11441
Personenkraftwagen	88300	94757	100939	102248	105865	110777	115917
Pick up	16000	16239	16566	16756	17446	18827	18217
Summe	122400	131337	138408	140448	145587	153282	159406

Verkehrszählungen werden in Kamerun wie in anderen Entwicklungsländern nur sporadisch erhoben. Nach kamerunischer Praxis wird der Verkehr nur auf neu zu bauenden oder zu verstärkenden Straßen gezählt. Periodische Verkehrserhebungen für eine systematische Verkehrsprognose gibt es nicht. Trotz des gegenüber europäischen Verhältnissen niedrigeren Verkehrsaufkommens werden die Fahrbahnbefestigungen der Hauptverkehrsadern meistens in gleicher Höhe belastet. Ursache dafür sind die erhöhten Achslasten infolge überladener Lastkraftwagen. Obgleich in zahlreichen Ländern Achslastbeschränkungen eingeführt sind, werden die zulässigen Achslasten nicht eingehalten. In Kamerun dürfen normalerweise die LKW eine Achslast von 13 t nicht überschreiten. In den meisten Entwicklungsländern gibt es aber häufig in Importhäfen Unternehmen, die sich mit der Verbreiterung und Erhöhung der Abmessungen der frisch importierten LKW beschäftigen. So ausgerüstet können LKW fast doppelt so viel transportieren wie im normalen Fall. Damit können die Transportkosten erheblich reduziert werden (s. Abbildung 2-3). Kontrollen von LKW und schweren Bussen gibt es nur an einigen Stellen der Hauptverkehrsstraßen.

Neben den Beanspruchungen aus Verkehr werden die Straßen auch infolge des Klimas, d.h. große Temperaturschwankungen, heftige Regenfälle und intensive Sonneneinstrahlung beansprucht.



Abbildung 2-3: Beispiel eines überladenen LKW [71]

2.6.3 Straßennetzzustand

Ein Großteil der asphaltierten Straßen befindet sich nach Angabe des Bauministeriums in einem sehr schlechten Zustand und auch bei den Erd-, Kies-/Schotterstraßen befinden sich ca. 72 % (Abbildung 2-4) in einem schlechten Zustand.

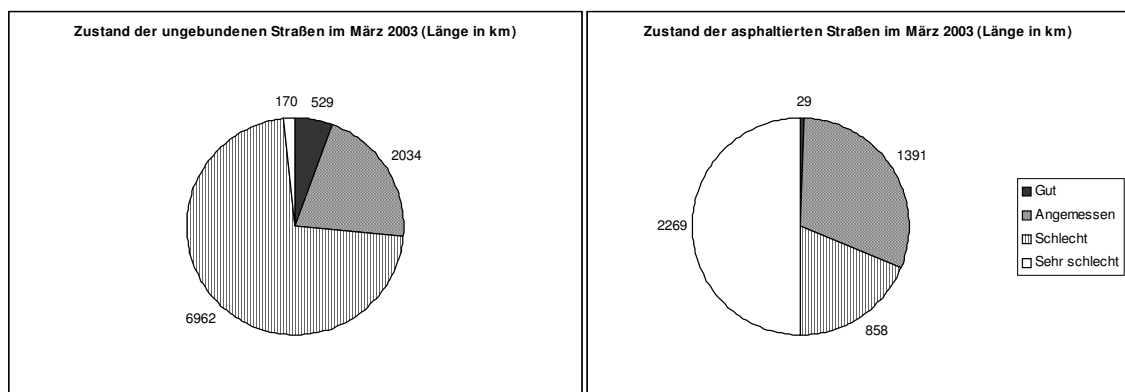


Abbildung 2-4 Zustand des Straßennetzes im März 2003 [37]

2.6.4 Straßenbaustoffe

Die Materialien, die für den Straßenbau verwendet werden, sind abhängig von den geologischen Gegebenheiten einer Gegend. Man kann drei große geologische Zonen unterscheiden (siehe Abbildung 2-5) :

- Die kristalline und metamorphische Zone
- Die sedimentäre Zone
- Die vulkanische Zone [27]

In der Tabelle 2-5 sind die für Straßenbauzwecke in Kamerun verwendeten Böden zusammengestellt und mit den internationalen Benennungen versehen. Sie lassen sich in drei Hauptgruppen unterteilen und können wie folgt definiert werden:

- Laterit-Böden sind Böden, die in feuchtwarmem, tropischem bis subtropischem Klima durch rasche chemische Verwitterung von Feldspat entstehen
- Residualböden sind Böden, die aus einem in situ Verwitterungsprozess (ohne Erosion) entstanden sind
- Vulkanische Böden sind Böden, die durch die Akkumulation von vulkanischen Gesteinsbruchstücken entstehen.

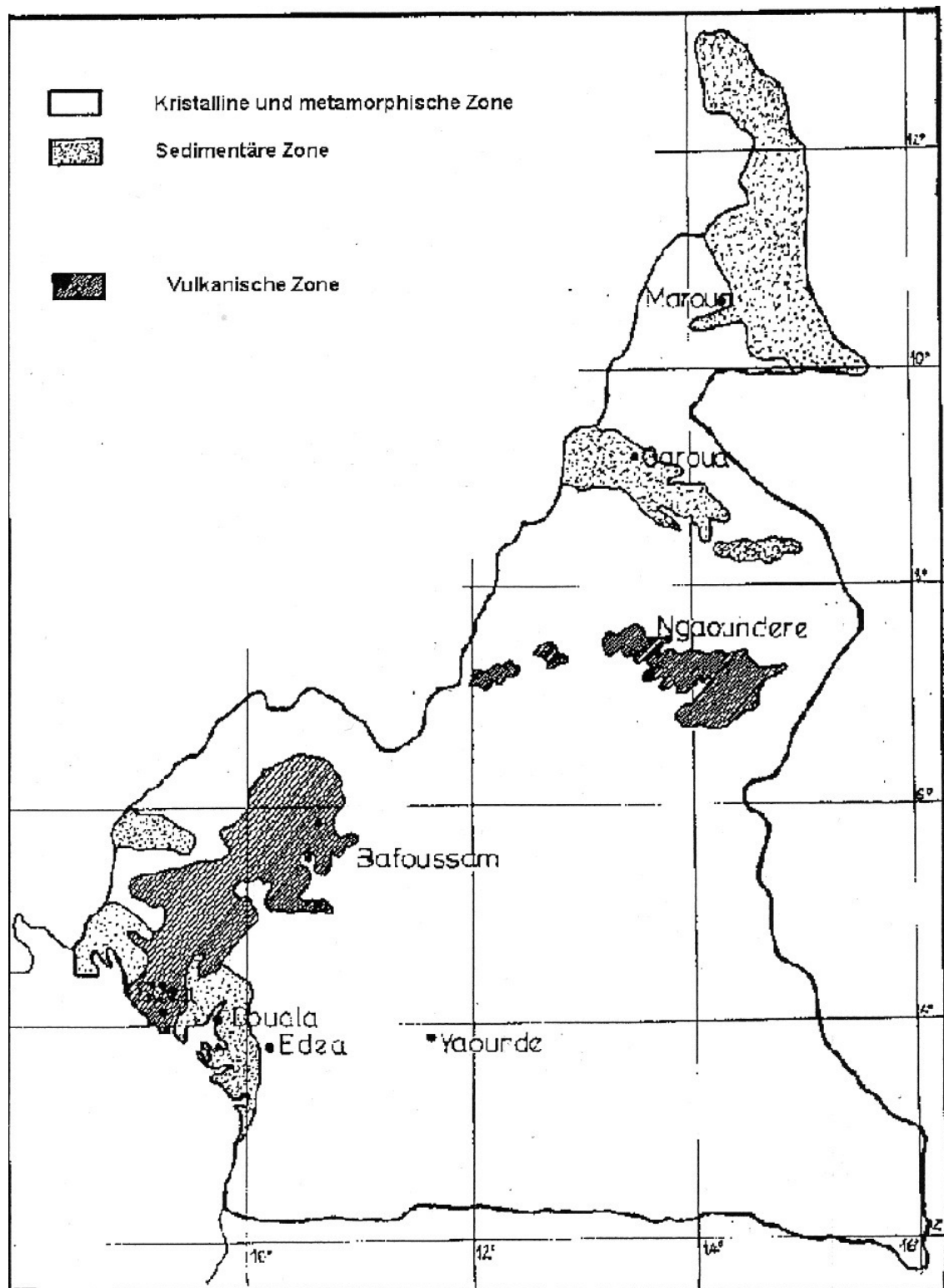


Abbildung 2-5: Große geologische Zonen Kameruns [66]

Tabelle 2-5: Tropische Böden für Straßenbauzwecke in Kamerun [26]

Bodengruppe	Tropische Bodenarten (internationale Benennungen)				Hauptminerale	Quellfähigkeit	Ausgangsgesteine
	Englisch	USA	Deutsch	Französisch			
I Laterit Böden	Lateritic soil		Laterit Böden	Sols latéritiques	Kaolinit Halloysit Gibbsit Goethit	Gering	Sedimentgesteine Sedimentgesteine wie Braunkohle, Dolomit, Kreide, Mergel, Sandstein, Steinkohle usw.
	Latosol	Andosol	Ferralitische Böden	Sols ferrallitiques			
	Red clay		Fersiallitische Böden Roter Ton	Sols ferrugineux Argile rouge			
II Residualböden	Black cotton soil		Schwarzer Ton	Vertisols	Montmorillonit Smectit	Hoch	Umprägungsgesteine (mechanische und termisch umgewandelte Gesteine) wie Glimmerschiefer, Gneis, Granulit, Marmor usw.
	Black clay						
	Tropical black earth Grumusol	Vertisol	Tropische Schwarzerde				
III Vulkanische Böden	Volcanic ash soil		Vulkanische Aschenböden	Sols de cendres volcaniques	Allophan Halloysit	Keine	Magmasteine wie Basalt, Diabas, Granit, vulkanisches Glas usw.
	Andosols	Andept					

2.6.5 Überblick über die gegenwärtige Erhaltungs- und Unterhaltungspolitik

Im Rahmen des PST („*Projet Sectoriel du Transport*“) ist die Ausführung der Straßenwartung dem Privatsektor seit 1995 anvertraut worden. Die Straßendirektion (*Direction des routes*, DR) des Bauministeriums übernimmt die Planung und Kontrolle. Es gibt 10 Dienststellen in den Regionen, d.h. in jeder Region eine. Die Dienststellen in den Regionen führen die laufende Unterhaltung in Eigenregie durch. Die periodische Unterhaltung und die Straßenerhaltung werden nach Ausschreibungen durch kleine und mittlere Unternehmen vorgenommen. Die zentrale Direktion führt das Management der Unterhaltung dem zugeteilten Budget entsprechend durch. Diese Mittelverteilung wird dem Straßenfonds (FR) unterbreitet; der prüft, ob die Straßen zum vorrangigen Netz gehören, und ob die Arbeiten beihilfefähig sind. In diesem Fall wird die laufende und planmäßige Wartung durchgeführt. Dieses Projekt wird direkt durch das Budget des Staates oder von den Geldgebern finanziert. Die DR arbeitet die Ausschreibungen und die entsprechenden Verträge aus. Sie überwacht die Arbeiten. Die Kontrolle und die Überwachung werden durch nationale technische Planungsbüros (BET) gewährleistet und Zahlungen werden in weniger als 10 Tagen durch den Straßenfond (FR) geleistet. Der FR spielt eine Schalterrolle. Die Finanzierung der Straßenunterhaltung wird durch den FR, der im Jahre 1998 eingeführt wurde, gewährleistet. Der FR untersteht dem Finanz- und Budgetministerium. Seine Mittel stammen aus den speziellen Steuern aus Erdölerzeugnissen (TSPP: „*Taxe sur les Produits Petroliers*“), aus Straßenwiegeeinrichtungen, aus Maut und aus anderen Quellen. Die TSPP werden durch die kamerunische Ölgesellschaft (SCDP: „*Société Camerounaise de Depot Petrolier*“) und die nationale Raffineriegesellschaft (SONARA: „*Société Nationale de Raffinerie*“) zum Preis von 8 US Cent per Liter Benzin und von 10 US Cent per Liter Diesel erhoben. Die Strafen, die auf Fahrzeugwägungen zurückzuführen sind, werden durch das Finanz- und Budgetministerium eingenommen. Die Mittel des Straßenfonds betrugen 30 Millionen US \$ 1998/1999, 40 Millionen 1999/2000, und 50 Millionen 2001/2002 [50].

2.6.6 Entwicklung des Verwaltungs- und Investitionsbudgets sowie die Außenfinanzierung von 1995 bis 2001

Die Entwicklung des Budgets des Bauministeriums zwischen 1995 und 2001 (s. Tab. 2-6) zeigt deutlich, dass fast alle Investitionsfonds für den Bau und die Unterhaltung der Straßen in Kamerun aus bilateralen oder multilateralen Kooperationen stammen. Die nationalen Beiträge sind im Straßensektor verhältnismäßig belanglos. Deswegen muss etwas getan werden, um diese Abhängigkeit zu vermeiden. Das Straßenbau- und Unterhaltungsbudget ist in Kamerun sehr begrenzt. Es ist daher dringend notwendig, eine Strategieberatung durchzuführen.

Tab. 2-6: Entwicklung des Verwaltungs- und Investitionsbudgets des Bauministeriums von 1995 bis 2001 (in Million US \$) [50]

Jahr Finanz- ierungsquelle	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01
Verwaltungsbudget	25,000	30,150	40,175	46,210	55,745	63,270
Investitionsbudget	7,100	15,385	12,615	16,230	22,155	20,560
Außenfinanzierung	18,460	30,770	53,880	96,310	95,795	114,000
Total	50,500	76,305	106,670	158,750	153,695	197,830

3 Rechenmodell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Straßenbaumaßnahmen (HDM-4)

3.1 Besonderheit der Straßenerhaltung in Entwicklungsländern

Die Krise der Straßenerhaltung in der Mehrzahl der Entwicklungsländer, insbesondere Afrikas, behindert das Transportwesen und die Entwicklung der Gesamtwirtschaft dieser Länder in einem Ausmaß, dass eine grundsätzliche Änderung der Straßenerhaltungspolitik dringend erforderlich ist [14].

Die Straßenunterhaltung ist nach allgemeiner Erkenntnis in vielen Entwicklungsländern unzureichend. Dass man substanzerhaltenden Maßnahmen nur geringe Priorität zuerkennt, wird weniger als ein technisches sondern als ein organisatorisches Problem angesehen. Ein Modell für die angemessene Straßenunterhaltung soll dazu beitragen, bei den lokalen Verwaltungen die Einsicht in die Notwendigkeit verstärkter Unterhaltung und Instandsetzung des Straßennetzes zu fördern.

Für die Erstellung und Erhaltung einer bedarfsgerechten Straßeninfrastruktur fehlt in vielen Entwicklungsländern nach wie vor eine adäquate und sichere Finanzierung und eine effiziente Planung und Wartung des Straßennetzes aufgrund einer übermäßigen Beanspruchung der Straßen durch oftmals überladene Fahrzeuge. Die staatlichen Einnahmen aus Steuern und Gebühren sind oft zu niedrig. Dies schlägt sich dann in geringen Budgetansätzen für den Straßensektor nieder. Nutzerabgaben (z.B. Mineralölsteuer, Lizenzgebühren, Straßenbenutzungsgebühren) werden kaum zur Finanzierung herangezogen. Wo aber solche Abgaben erhoben werden, kommen sie nur in geringem Umfang dem Straßensektor zugute. Angesichts des zumeist unzureichenden Steueraufkommens und anderer wichtiger Staatsaufgaben wird die Straßenerhaltung oft politisch nicht als vorrangig angesehen, und weniger als ein Viertel der notwendigen Mittel wird dafür bereitgestellt. Mit hohem Aufwand gebaute Straßen sind oft nach wenigen Jahren bereits so beschädigt, dass sie mit unverhältnismäßig hohen Kosten von Grund auf instandgesetzt oder völlig neu gebaut werden müssen.

Insbesondere in Afrika besteht mittlerweile die Gefahr des Verlustes von großen Teilen des im Verkehrssektor gebundenen Anlagevermögens. Wie wichtig Straßen sind, merkt man oft erst, wenn nichts mehr geht. Güter kommen nicht mehr auf den Markt, Dörfer werden unerreichbar, Bauern können sich Agrarinputs (z.B. Dünger) nicht mehr leisten. Der Transport wird zu teuer. Ganze Wirtschaftszweige auf dem Lande werden unrentabel.

Die Neukonzeption und Reorganisation der Straßenerhaltung wird sich generell an Finanzkriterien orientieren, die zunächst die Sicherstellung der Finanzierung (nach dem Verursacherprinzip und hauptsächlich über Treibstoffsteuern) und dann eine kostenorientierte Planung und Durchführung erfordert. Die Planung und Durchführung der Straßenerhaltung orientiert sich an zwei Grundsätzen:

- Die Erhaltung des investierten Anlagevermögens für den staatlichen Straßeneigentümer muss gesichert sein.
- Die straßenbezogenen Kosten für die Straßennutzer müssen minimiert werden.

In der Summe ist das volkswirtschaftliche Minimum der Kosten anzustreben.

3.2 Pavement-Management-Systeme

Die Aufgaben der Managementsysteme lassen sich in einem Funktionskreis darstellen [53]:

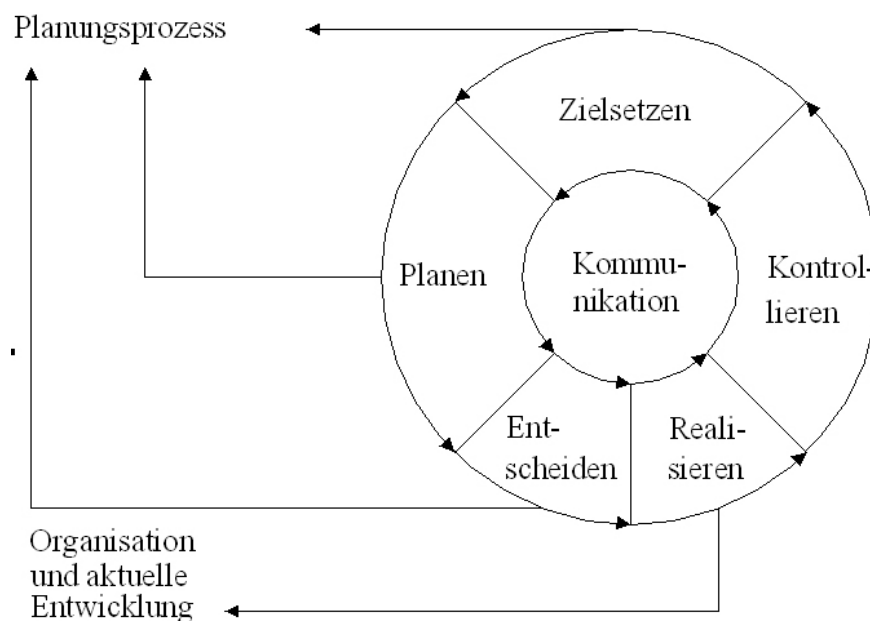


Abbildung 3-1: Management-Kreis [53]

Diese bestehen aus den Funktionen „Zielsetzen“ – „Planen“ – „Entscheiden“ – „Realisieren“ – „Kontrollieren“.

Zwischen den einzelnen Funktionen bestehen Abhängigkeiten und Rückkopplungen. Die zeitliche Abfolge ist nicht starr. So kann zum Beispiel die Planung als Ergebnis der Kontrolle geändert werden, ohne dass es erforderlich wäre, die Ziele neu zu formulieren. Im System spielt die Kommunikation eine wesentliche Rolle. Der Austausch von Informationen ist Voraussetzung der einzelnen Aufgaben und des Erfolgs.

Die Aufgabe des Managements besteht darin, die notwendigen Handlungsentscheidungen rational, nach zielbezogenen Kriterien zu treffen. Je nach Ausgangslage geht es darum, einen vorgegebenen, das heißt einen gewünschten Ertrag (im Sinne von „Effekt“ bzw. „Nutzen“) mit möglichst geringem Aufwand zu erreichen (Minimumprinzip) oder mit einem vorgegebenen Aufwand einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen (Maximumprinzip) [3], [4], [6].

Das Resultat der getroffenen Entscheidungen und Handlungen - der „Ertrag“- kann monetär, aber auch nach anderen Kriterien, z.B. auf der Grundlage einer nutzwertanalytischen Bewertung, gemessen werden.

Straßenbau- bzw. -erhaltungstechnische Entscheidungen, die nur die Kosten der Straßenbaulastträger berücksichtigen, sind nicht ausreichend. Straßenbau und Straßenerhaltung dienen nicht einem eigenwirtschaftlichen Selbstzweck. Der Nutzen von Maßnahmen an Straßen und damit der Nutzen infolge des dadurch erzielten Straßenzustandes lässt sich nur an dem Nutzen messen, den die Verkehrsteilnehmer - die „Straßennutzer“- aus dem Straßenzustand durch einen Vorteil im Hinblick auf Reisezeit, Sicherheit und Fahrkomfort ziehen oder der sich für „Dritte“ aus der zustandsbezogenen Umweltsituation ergibt. Das heißt: Die monetäre Bewertung muss primär nach gesamtwirtschaftlichen Kriterien unter Berücksichtigung der Gesamtkosten, d.s. Straßenbaulastträgerkosten und Straßennutzerkosten, vorgenommen werden [7], [8], [9], [10].

Allerdings erfordert, insbesondere in Entwicklungsländer wie Kamerun, das Prinzip „sparsamer Umgang mit Steuergeldern“ auch eine Bewertung allein aufgrund der Straßenbaulastträger. Mit anderen Worten: Der „Ertrag“ bzw. der „Effekt“, der aus Bau- und aus Erhaltungsmaßnahmen erzielt wird und der als Maßstab für zu treffende Entscheidungen dient, muss gesamtwirtschaftlich und eigenwirtschaftlich gemessen werden. Beide Betrachtungen sind erforderlich und bedürfen einer Abwägung [52], [54].

Aus dem allgemeingültigen Funktionskreis für das Management (s. Abbildung 3-1) lassen sich in verschiedener Weise Pavement-Management-Modelle entwickeln, in denen die vielfältigen Aufgaben zusammengefasst und verknüpft sind, die im Zusammenhang mit dem Bau und der Erhaltung von Straßenbefestigungen anfallen. Ein Beispiel ist in Abbildung 3-2 dargestellt [53].

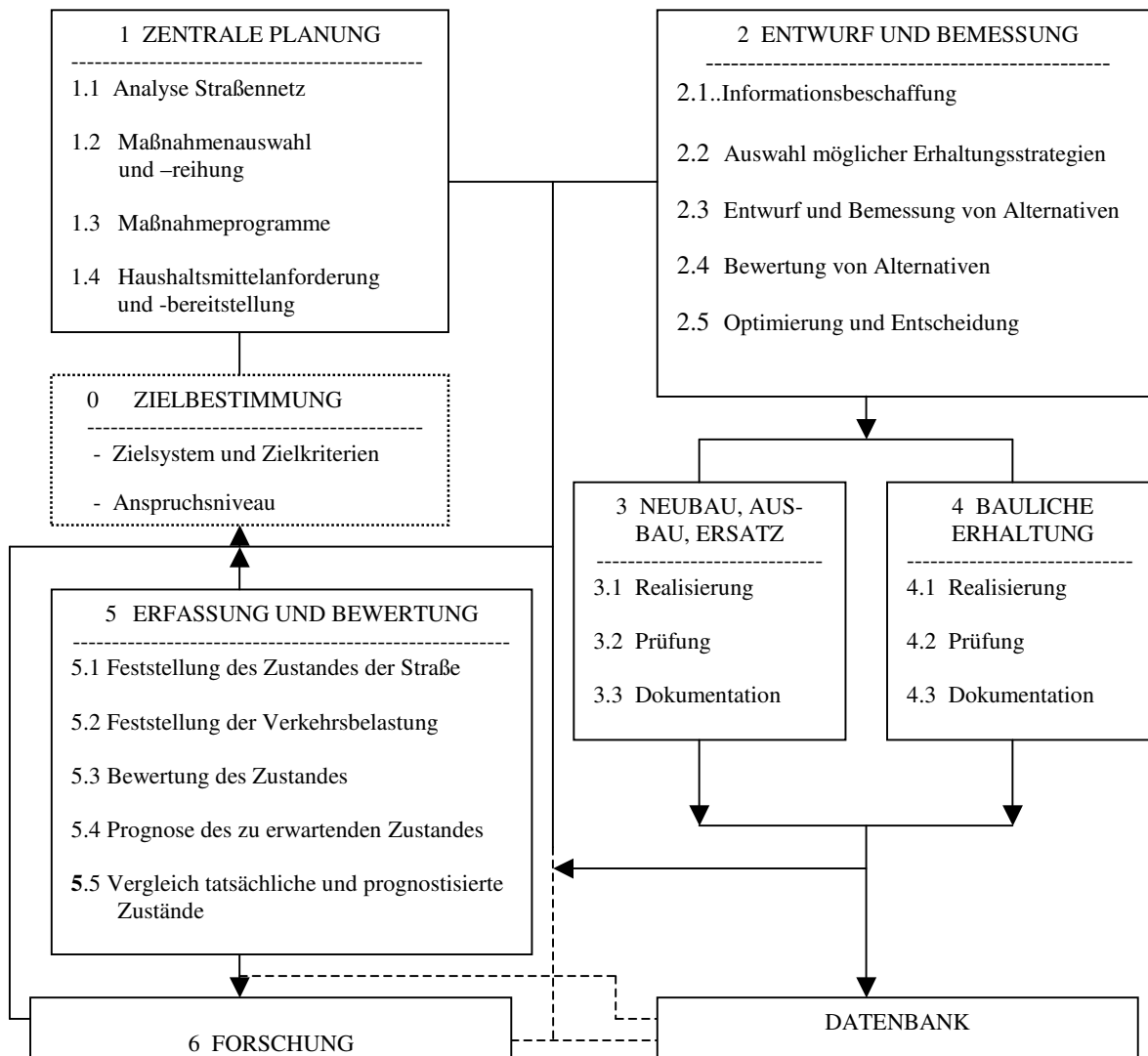


Abbildung 3-2: Allgemeines Pavement Management [53]

3.3 Managementsysteme als wesentliche Instrumentarien der systematischen Straßenerhaltung

Um die für eine systematische Straßenerhaltung notwendigen operativen Arbeitsschritte zur Programmbildung einheitlich und nachvollziehbar zu gestalten und die dabei vorhandenen komplexen Zusammenhänge und Abhängigkeiten transparent zu machen, ist der Einsatz moderner, rechnergestützter Managementsysteme unverzichtbar. Die Entwicklung solcher Systeme für Straßenbefestigungen (*Pavement-Management-System/PMS*) muss in Entwicklungsländern forciert werden. Das PMS ist modular aufgebaut, was die Weiterentwicklung und Umsetzung wesentlich erleichtert (s. Abbildung 3-3).

Modul 1	Bildung von homogenen Abschnitten
Modul 2	Auswahl der zur Erhaltung anstehenden Abschnitte
Modul 3	Mängelanalyse / Schadensursachen
Modul 4	Prognose der Zustandsänderungen
Modul 5	Bautechnisch mögliche Erhaltungsmaßnahmen
Modul 6	Bewertung und Reihung der Maßnahmevarianten
Modul 7	Optimierung der Maßnahmevarianten bei Budgetbegrenzung
Modul 8	Kurz-/mittelfristiges Erhaltungsprogramm

Abbildung 3-3: Module des Pavement-Management-Systems PMS [5]

Die hier aufgezeigten Module werden auch durch das in dieser Arbeit eingesetzte Programm HDM (*Highways Development and Management*) aufgenommen. Sie umfassen alle Arbeitsschritte von der Bereitstellung der Bestands- und Zustandsdaten über die Erfassung der Schäden und des Zustands, die Schadensbewertung und Analyse, der Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen und –strategien, der Reihung von Dringlichkeiten, der Ermittlung des Finanzbedarfs bis hin zur Durchführung der Maßnahmen und anschließender Bilanzierung.

Die Vorteile des PMS liegen vor allem in den Möglichkeiten, netzweit eine Fülle an erhaltungsrelevanten Daten und Informationen miteinander zu verknüpfen und Maßnahmevorschläge zu optimieren. Mit Hilfe der Ablaufalgorithmen des PMS, werden netzweit über homogene Abschnitte mit vergleichbarem Zustand, ähnlichen Verkehrsbelastungen und einheitlichem Straßenaufbau objektbezogene Erhaltungsplanungen durchgeführt [11],

[12]. Für einen vorgegebenen Prognosezeitraum werden die Arten, Zeitpunkte und Kosten aller technologisch und wirtschaftlich sinnvollen Erhaltungsmaßnahmen variiert. Die Wirksamkeit der gewählten Strategien und ausgewählten Maßnahmen kann mit Hilfe eines PMS, das mit Hilfe von HDM-4 entwickelt wird, über Jahre abgeschätzt und deren Auswirkungen im Netz transparent gemacht werden.

3.4 Highways Development and Management Program (HDM-4)

3.4.1 Allgemeines

Straßenerhaltung dient der Substanzerhaltung, der Erhaltung des Gebrauchswertes (Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Benutzerkomfort) und auch der Verbesserung bestimmter Umweltbedingungen. Zwischen Straßen-(Oberbau-)substanz, Straßenerhaltung, Straßenzustand und Verkehrsablauf bestehen komplexe Zusammenhänge mit erheblichen volkswirtschaftlich wirksamen Effekten und Auswirkungen u. a. auf den Energie- und Zeitbedarf der Straßennutzer und das Unfallgeschehen [55].

Der Bau und die Erhaltung der Straßen beanspruchen die ohnehin knappen öffentlichen Haushaltsmittel. Aus diesem Grund müssen bei den Entscheidungen über die geeigneten Straßenerhaltungsmaßnahmen sowohl die betriebswirtschaftlichen und politischen, als auch die volkswirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt werden. Dabei können die Baulasträger- und die Straßennutzerkosten minimiert werden, indem man alternative Erhaltungsstrategien untersucht und vergleicht. Dies ist mit Unterstützung eines computergestützten Rechenmodells möglich.

Speziell für Entwicklungsländer hat die Weltbank die Entwicklung des Managementprogramms HDM (*Highway Development and Management*) mit erheblichen Mitteln unterstützt. HDM-4, das im März 2000 freigegeben wurde, ist das zurzeit aktuellste Produkt der HDM -Programmreihe und somit direkter Nachfolger des *Highway Design and Maintenance Models* HDM-III [92]. HDM-III wird in über 100 Ländern (NDLI, 1995) angewendet. Es wurde aber erkannt, dass es Beschränkungen in den Betriebskosten- und Fahrbahnverschlechterungs-Verhältnissen gab [15].

Dieses führte zur Entwicklung des HDM-4 von 1993 bis 2000 durch die *International Study of Highway Development and Management Tools* (ISOHDM), koordiniert durch *The World Road Association* mit der Unterstützung der *Asian Development Bank* (ADB), dem *Department for International Development* (DFID), der *Swedish National Road Administration* (SNRA) sowie der Weltbank. Beteiligt sind außerdem die *Finnish National Road Administration* (FINNRA) und die *Inter-American Federation of Cement Producers* (FICEM) [16], [17], [18], [19].

Die Abbildung 3-4 zeigt die Entwicklung des HDM-Modells.

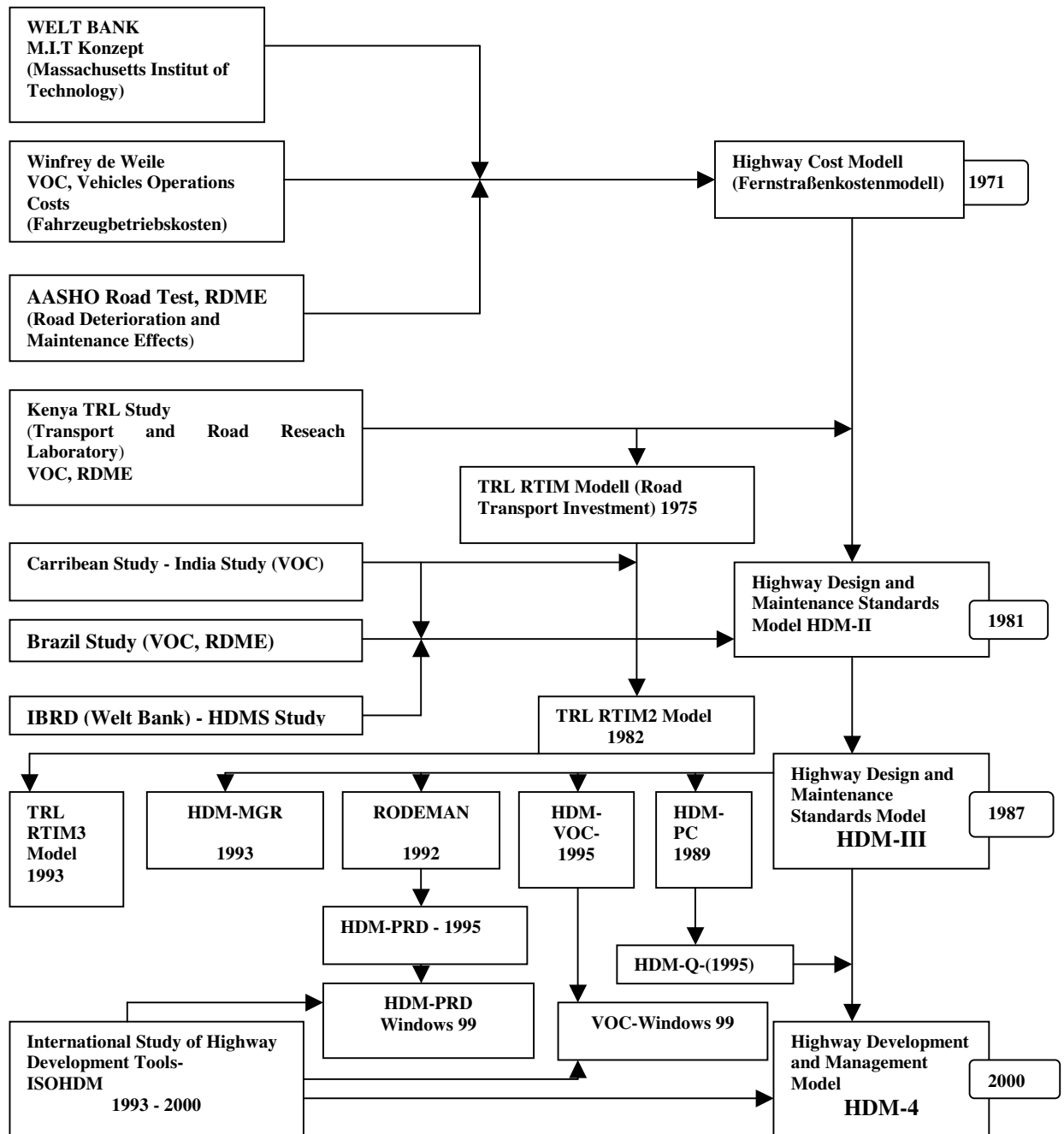


Abbildung 3-4: Entwicklung des HDM-Modells [67]

3.4.2 Zweck des HDM-4-Programms

Das Ziel der Anwendung von HDM-4 ist es, den Bau und die Erhaltung eines Straßennetzes unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten zu optimieren [51].

Die Optimierung beinhaltet in der Regel drei Hilfsmodelle:

- Erstens ein vordefinierter Maßnahmenkatalog mit standardisierten Erhaltungsmaßnahmen, Anwendungsbereichen und Kosten,

- Zweitens ein vordefinierter Strategiekatalog, der repräsentative Beispiele standardisierter Erhaltungsstrategien in Funktion von Schadensbild und Schadensanalyse beinhaltet,
- Drittens ein Einheitskostenkatalog, bestehend aus aktualisierten Betriebs- und Erhaltungskosten.

Neben einer systematischen Analyse unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmen kann eine Prognose des Straßenzustandsverlaufs in einem Betrachtungszeitraum und seiner Auswirkung auf die Gesamtkosten erstellt werden.

Die Zielsetzung von HDM-4 besteht darin, die Rolle, die das Straßenverkehrssystem (Straßen und Fahrzeuge) als wirksamer Transportdienst spielt, hervorzuheben. Das Programm zeigt den Zusammenhang zwischen den Investitionen, die mit den Straßen und den Fahrzeugen in Verbindung stehen, und den Transportersparnissen sowie der Umwelt. HDM-4 ist eine neue Wissensbasis und Software-Hilfe, die dem Straßenerhaltungspersonal dazu dient, die richtigen Beträge für die Mittelbereitstellung für Entwicklungs- und Instandhaltungskosten der Straßeninfrastruktur zu ermitteln.

Das HDM-4 Verfahren wird hier für das Straßenentwicklungsmanagement in Entwicklungsländern am Beispiel Kamerun benutzt, um die ökonomischen Indikatoren (Nettogegenwartswert und Interner Zinsfuß) von Projekten abzuschätzen. Traditionsgemäß beruhen Budgets und Programme für Straßenbauarbeiten auf einer historischen Grundlage, in der jedes Jahresbudget auf dem vorhergehenden Jahr basiert und mit einem Inflationsfaktor beaufschlagt wird. Bei solch einer Vorgehensweise gibt es keine Rechtfertigung, ob Finanzierungsniveaus oder -verteilungen entweder ausreichend oder angemessen sind.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist es, mit Hilfe des HDM-4-Programms Untersuchungen zur Optimierung des Managementsystems in Entwicklungsländern am Beispiel des Kameruner Straßennetzes durchzuführen, um kostengünstig eine dauerhafte Straßenbefestigung zu bauen und zu unterhalten.

3.4.3 Programmstruktur und Programmablauf

Das HDM-4-Rechenprogramm lässt sich grob in einen Eingabeblock, in den die Daten eingespeist werden, den eigentlichen Programmteil, wo verschiedene Erhaltungsstrategien bearbeitet und analysiert werden, und schließlich einen Ausgabeblock mit Reportdateien der Untersuchung unterteilen (s. Tabelle 3-1).

Die für die Modellbildung erforderlichen Eingabedaten sind die Straßendaten, die Erhaltungsmaßnahmen und ihre Einheitspreise, die technischen und ökonomischen Fahrzeugdaten sowie Angaben über die Klimabedingungen der betrachteten Region.

Auf der Basis dieser Angaben werden die sogenannten Verhaltensfunktionen erstellt. Unter Verhaltenfunktionen ist die Entwicklung der den Straßenzustand charakterisierenden Merkmale in Abhängigkeit von der Straßenbauweise, der

Verkehrsbeanspruchung sowie dem Klima zu verstehen. Dominierendes Merkmal des Straßenzustandes ist die Längsunebenheit, welche durch den Unebenheitsindex (IRI: *International Roughness Index*) ausgedrückt wird. In diesem Arbeitsschritt werden alle Unterhaltungsmaßnahmen und alle Erhaltungsalternativen im Prognosezeitraum berücksichtigt. Zuverlässige Verhaltensfunktionen können nur als Ergebnis nationaler bzw. regionaler Kalibrierung auf Grund von Langzeituntersuchungen gewonnen werden.

Tabelle 3-1: Programmstruktur von HDM-4 [51]

Inputs	Programm	Outputs
Straßendaten: -Fahrbahnstruktur -Abschnittslänge -Linienführung -Zustandswerte (IRI) -Verkehrsdaten -Interventionswert	Ebene: -Projekt -Programm -Strategie Definition: -Basisoption (Option 0) -Alternativen Rechenschleife: über alle Optionen <div style="text-align: center;">↓</div>	Straßenbaulastträgerkosten
		Straßennutzerkosten: Entwicklung der -Fahrzeugbetriebskosten -Reisezeitkosten -Unfallkosten
		Sozial- und Umweltkosten: -Emissionen
Bauliche Maßnahmen: -Neubau -Straßenunterhaltung -Straßenerhaltung mit Kosten, Betrachtungszeitraum	Modelle Analysen Analyseschleifen: über alle Jahre Prognosezeitraum	Gesamtkosten, -nutzen: Für jede Option -Nettogegenwartswert -Interner Zinsfuß
Fahrzeugdaten -Kategorie -Größe, Leistung -Kosten		Straßendaten: Entwicklung von -Zustandsdaten -Substanzwert -Gebrauchswert -Verkehrsdaten -Zuwachs -Verteilung
Klimadaten: -Temperatur -Niederschlag		

Ein weiterer Arbeitsschritt unter der gesamtwirtschaftlichen Betrachtungsweise ist die Ermittlung von Straßennutzerkosten, die zum einen aus Fahrzeugbetriebskosten und zum anderen aus Zeit- und Unfallkosten bestehen (s. Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Darstellung von Straßennutzerkosten [60]

Straßennutzerkosten (SNK)		
Fahrzeugbetriebskosten	Reisezeitkosten	Unfallkosten
- Kraftstoff - Öl-, Schmierstoff - Ersatzteile - Zinsen - Abschreibung etc	- Freie Reisezeit - Stauzeit	Mit: - Todesfolge - Verletzte - Sachschaden

Um auf den Einfluss auf die Straßennutzerkosten schließen zu können, ist jedoch die Kenntnis von charakteristischen technischen und wirtschaftlichen Parametern für die Kennzeichnung der jeweiligen Fahrzeugtypen von großer Wichtigkeit.

In der Ausgabe werden die Entwicklungen der Zustandsparameter von Straßenabschnitten, der Baulastträger- und Straßennutzerkosten, der Verkehrsbelastung, der Umwelteinflüsse sowie die gesamte wirtschaftliche Analyse vorgestellt [19].

3.4.4 Straßendaten

Im folgenden werden die wichtigsten Parametern von HDM-4-Programm und deren Bestimmungsgleichungen beschrieben. Die gesamte Beschreibung kann den Handbücher entnommen werden [24], [25], [41], [42], [44], [45], [46].

3.4.4.1 Fahrbahnstruktur

Maßzahl für die Gesamtstruktur hinsichtlich der Tragfähigkeit des gesamten Straßenoberbaus im HDM-4-Programm ist der justierte „*Structural Number of Pavement*“ (SNP)-Wert [46].

Der Programmbenutzer hat vier Inputoptionen:

- 1- Eingabe des justierten „*Structural Number of Pavement*“ (SNP)-Wertes
- 2- Benkelman-Balken-Einsenkung (*Benkelman beam deflections*)
- 3- Fallgewichts-Einsenkungsmesswert (*Falling Weight Deflections FWD*)
- 4- Lagenkoeffizienten der Schichtdicken und der CBR-Wert des Untergrundes (*Layer thickness, strength coefficients and subgrade CBR*).

Der *California Bearing Ratio* (CBR) ist eine Kenngröße für den Verformungswiderstand eines ungebundenen Materials, der im Labor oder in situ bestimmt werden kann [49].

Wenn die SNP-Werte bereits vorliegen, können diese direkt als Strukturwerte in das HDM-4-Programm übernommen werden. Ist dies nicht der Fall, so können diese sehr einfach aus den Deflektionen von Benkelmanmessungen oder Messungen mit dem FWD ermittelt werden. Eine Beispielberechnung der SNP-Werte aus Einsenkungsmessungen wird in Kapitel 4 gezeigt. Im Folgenden wird kurz auf die Bestimmung des SNP-Wertes aus vorhandenen Strukturdaten eingegangen.

Der justierte SNP-Wert setzt sich zusammen aus:

- der Tragfähigkeit der Deckschicht, der Binderschicht und der Asphalttragschicht (SNBASUs)
- der Tragfähigkeit der ungebundenen Tragschicht und der Frostschutzschicht (SNSUBAs)
- der Tragfähigkeit des Untergrundes (SNSUBGs)

Der justierte SNP-Wert ergibt sich dann nach Gleichung 3-1 aus der Addition der drei Anteile.

$$\text{SNPs} = \text{SNBASUs} + \text{SNSUBAs} + \text{SNSUBGs} \quad (\text{Gleichung 3-1})$$

Die Tragfähigkeit der Deckschicht, der Binderschicht und der Asphalttragschicht ist abhängig vom Lagenkoeffizienten a_{is} , der Schichtdicke h_i , sowie dem E-Modul E. Mit zunehmender Schichtdicke und zunehmendem E-Modul nimmt auch der Lagenkoeffizient a_{is} zu, und somit auch die Tragfähigkeit der Schicht (s. Anlage A1 - Gleichung A1-4).

Die Tragfähigkeit der ungebundenen Tragschicht und der Frostschutzschicht ist abhängig vom Lagenkoeffizienten a_{js} , den verschiedenen Modellkoeffizienten b_0, b_1, b_2, b_3 (s. Tabelle 3-3) sowie der Tiefe z_j . Hierbei sind die Modellkoeffizienten fest vorgegeben während der Lagenkoeffizient a_{js} sowie die Tiefe z_j variabel sind (s. Anlage A1 – Gleichung A1-5).

Die Tragfähigkeit des Untergrundes ist abhängig vom CBR-Wert des Untergrundes, den Modellkoeffizienten b_0, b_1, b_2, b_3 und der Tiefe z_m (s. Anlage A1 – Gleichung A1-6). Der CBR-Wert (für den Untergrund darf den Wert 8 nicht unterschreiten, da der Untergrund sonst den erforderlichen Normanforderungen nicht entspricht (französische Norm NF P11-300)).

Tabelle 3-3: justierte SNP- Modellkoeffizienten

Deckentyp	b_0	b_1	b_2	b_3
Alle Deckentypen	1,6	0,6	0,008	0,00207

Die Tabelle 3-4 zeigt die Lagenkoeffizienten der verschiedene Fahrbahnbefestigungen.

Tabelle 3-4: Lagenkoeffizienten der verschiedenen Fahrbahnbefestigungen [41]

Schicht	Schichtentyp	Kondition	Koeffizient
Deckschicht (surfacing)	ST (<i>Surface Treatment</i> , Oberflächenbehandlung)	Meistens 0,2	$a_i = 0,20$ bis 0,40
	Asphalt Mix (Asphaltemischung)	$h_i < 30$ mm, niedrige Stabilität und kalt gemischt	$a_i = 0,20$
		$h_i > 30$ mm, $MR_{30} = 1500 \text{ MPa}$	$a_i = 0,30$
		$h_i > 30$ mm, $MR_{30} = 2500 \text{ MPa}$	$a_i = 0,40$
		$h_i > 30$ mm, $MR_{30} \geq 4000 \text{ MPa}$	$a_i = 0,45$
Binderschicht und Asphalttragschicht (Base)	GB (<i>Granular Base</i>)	Default	$a_i = (29,14\text{CBR} - 0,1977\text{CBR}^2 + 0,00045\text{CBR}^3) \cdot 10^{-4}$
		CBR > 70 (hydraulisch gebunden <i>sub-base</i>)	$a_i = 1,6 \cdot (29,14\text{CBR} - 0,1977\text{CBR}^2 + 0,00045\text{CBR}^3) \cdot 10^{-4}$
		CBR < 60, max. Achslast > 80 kN	$a_i = 0$
	AB (<i>Asphalt Base</i>), AP (<i>Asphalt Pavement</i>)	Enggestuft mit großer Steifigkeit	$a_i = 0,32$
	SB (<i>Stabilised Base</i> , Stabilisierte Binderschicht)	Kalk oder Zement	$a_i = 0,75 + 0,039\text{UCS} - 0,00088(\text{UCS})^2$
Tragschicht oder Frostschuttschicht (Sub-base)		Granular (ungebunden)	$a_j = -0,075 + 0,184 \log_{10} \cdot \text{CBR} - 0,0444(\log_{10} \cdot \text{CBR})^2$
		hydraulisch gebunden (<i>Cemented</i>) UCS > 0,7MPa	$a_j = 0,14$

Mit:

- UCS = „*Unconfined Compressive Strength*“ (ohne seidl. Stützdruck) in MPa nach 14 Tagen
- MR_{30} = Elastizitätsmodul beim indirekten Dehnungsversuch bei 30°C

Eine Beispielberechnung zum Einfluss von Rissen auf den justierten SNP-Wert der asphaltierten Straßen ist in der Anlage A1 zu sehen. Das Maß hierfür wird durch den

Wert dSNPK beschrieben. In der Abbildung 3-5 ist das Ergebnis dieser Beispielsberechnung dargestellt.

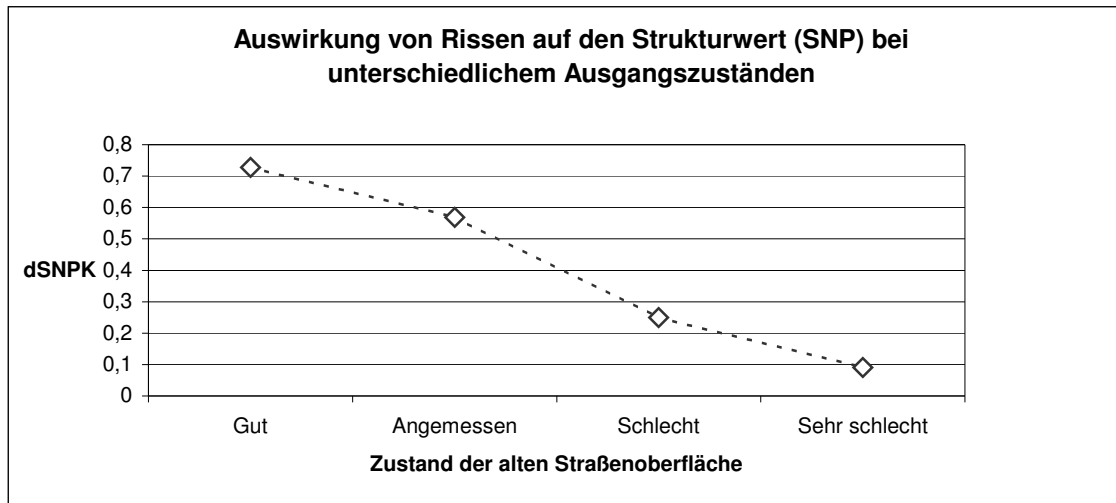


Abbildung 3-5: Auswirkung von Rissen auf den SNP bei unterschiedlichem Ausgangszustand

Es wird deutlich, dass ausgehend von dem Anfangszustand (Gut bis Sehr schlecht) der Einfluss einer Rissbildung auf den Strukturwert sehr unterschiedlich ist und bei Straßen mit einem ohnehin schlechten Ausgangszustand kaum noch Veränderungen bewirkt.

3.4.4.2 Abschnittslänge

Das Untersuchungsgebiet (Straße, Straßennetz) sollte möglichst realitätsnah in die Programmstruktur übernommen werden. Dazu ist es notwendig, das gesamte System in homogene Abschnitte zu unterteilen. Abgrenzungskriterien hierfür sind strukturelle Wechsel (im Aufbau), Veränderungen des Untergrundes, Klimazonen oder Verwaltungsgrenzen. Grundsätzlich gilt jedoch, dass die Aussage der Analyse qualitativ hochwertiger ist, je feiner und genauer die Eingabedaten sind.

3.4.4.3 Linienführung

Die Linienführung setzt sich zusammen aus der Straßengeometrie (Steigung, Gefälle und der durchschnittlichen horizontalen Kurvigkeit), der Höhenlage, der Art der Entwässerung sowie der Fahrbahnbreite und der durchschnittlichen Breite des Standstreifens.

3.4.4.4 Längsunebenheit

Das HDM-4-Programm bewertet als dominierendes Merkmal die Längsunebenheit, ausgedrückt durch den *International Roughness Index*, Unebenheitsindex IRI.

Der IRI ist eine mathematisch definierte, statistische Zusammenfassung der Fahrqualität in der Radspur einer Straße [58]. Der Index ist als durchschnittlicher, korrigierter Wert der Neigung zu interpretieren, der sich aus den absoluten Höhendifferenzen gegenüber dem Bezugslevel über eine festgelegte Distanz (in aller Regel 1 km) berechnet [58]. Er kann durch die mathematische Simulation des sogenannten „Quarter-car“-Modells

bestimmt werden (s. Abbildung 3-6). Der IRI ist definiert als Effektivwert der Relativbewegung zwischen der gefederten Masse z_s und der ungefederten Masse z_u eines Standardfahrzeuges bezogen auf die festgelegte Distanz Δl .

$$IRI = \frac{1}{\Delta l} \cdot \sqrt{\sum (z_s - z_u)^2} \quad \left[\frac{m}{km} \right] \quad (\text{Gleichung 3-2})$$

Die Bandbreite des IRI der asphaltierten Straßen verläuft von 0 m/km für eine absolut ebene Straße, über 4 m/km für eine Straße mit wenigen Unebenheiten bis hin zu 16 m/km für eine stark geschädigte, mit einzelnen Schlaglöchern versehene Straße. Auf internationaler Ebene sind viele Messkampagnen zur Bestimmung des IRI und seines Einflusses auf die Fahrzeugnutzerkosten durchgeführt worden. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage des HDM-4-Programms [22], [59].

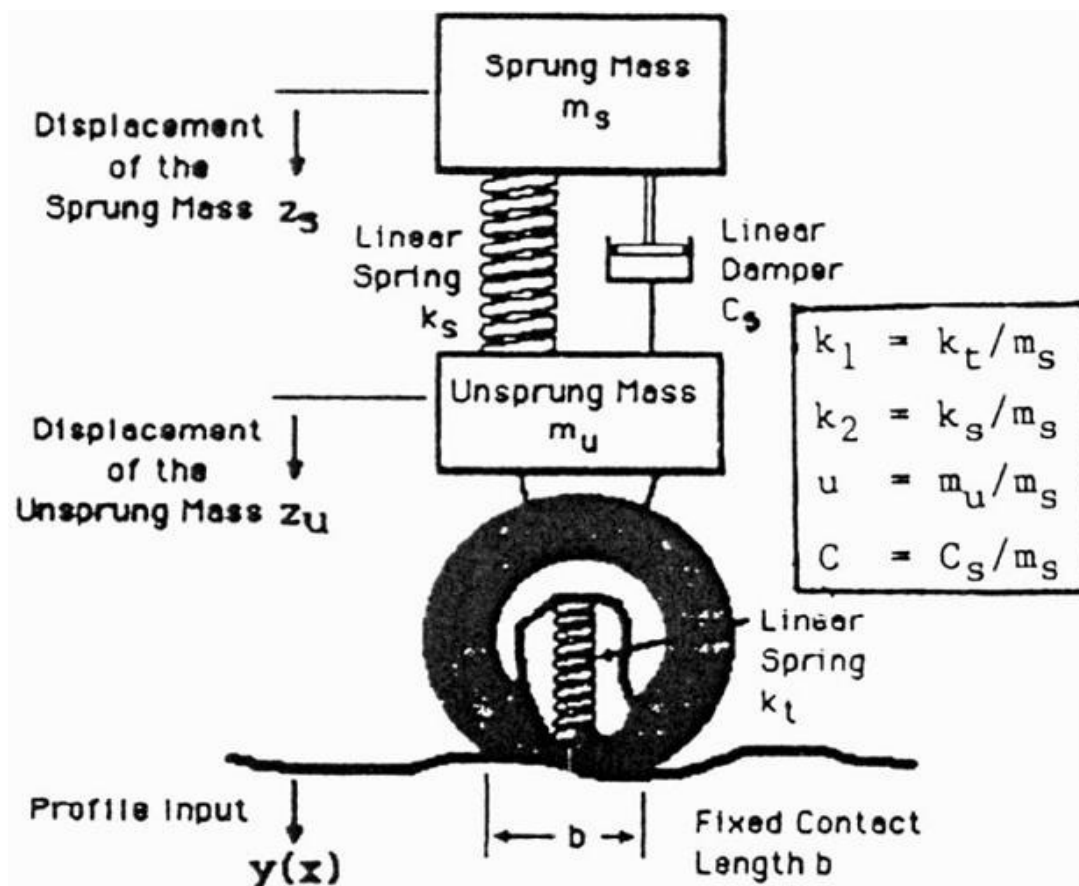


Abbildung 3-6: Modell zur Bestimmung des International Roughness Index IRI [59]

3.4.4.4.1 Längsunebenheiten der asphaltierten Straßen

Das Längsunebenheitsmodell wird von mehreren Faktoren beeinflusst: Strukturelle Bestandteile, Rissbildung (*cracking*), Spurrinnen (*rutting*), Anzahl der Schlaglöcher (*potholing*) und dem Klima. Die totale Längsunebenheit ist die Summe dieser

Bestandteile. Die Tabelle 3-5 enthält die Übersicht über diesen Zustandsparameter und dessen Qualitätseinstufung für die asphaltierten Straßen im HDM-4-Programm.

Tabelle 3-5: *Straßenzustandsmerkmale des Fahrkomforts für asphaltierte Straßen [25]*

Straßenkategorie	Fahrkomfort (<i>Ride Quality</i>) - Längsunebenheit [m/km] (<i>Roughness, IRI</i>)			
	<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>	<i>Bad</i>
Fernstraßen	2	4	6	8
Sekundäre Straßen	3	5	7	9
Tertiäre Straßen	4	6	8	10

*Struktureller Bestandteil ΔRIs

Der strukturelle Bestandteil des Merkmales Längsunebenheit bezieht sich auf die Deformation in den Straßenbaumaterialien unter Scherbeanspruchung, die durch die Verkehrsbelastung hervorgerufen wird. In dem strukturellen Bestandteil werden neben der Struktur (SNP-Wert) auch das Klima und das Alter der Befestigung bzw. die Zeit der letzten Erhaltungsmaßnahmen mit einbezogen.

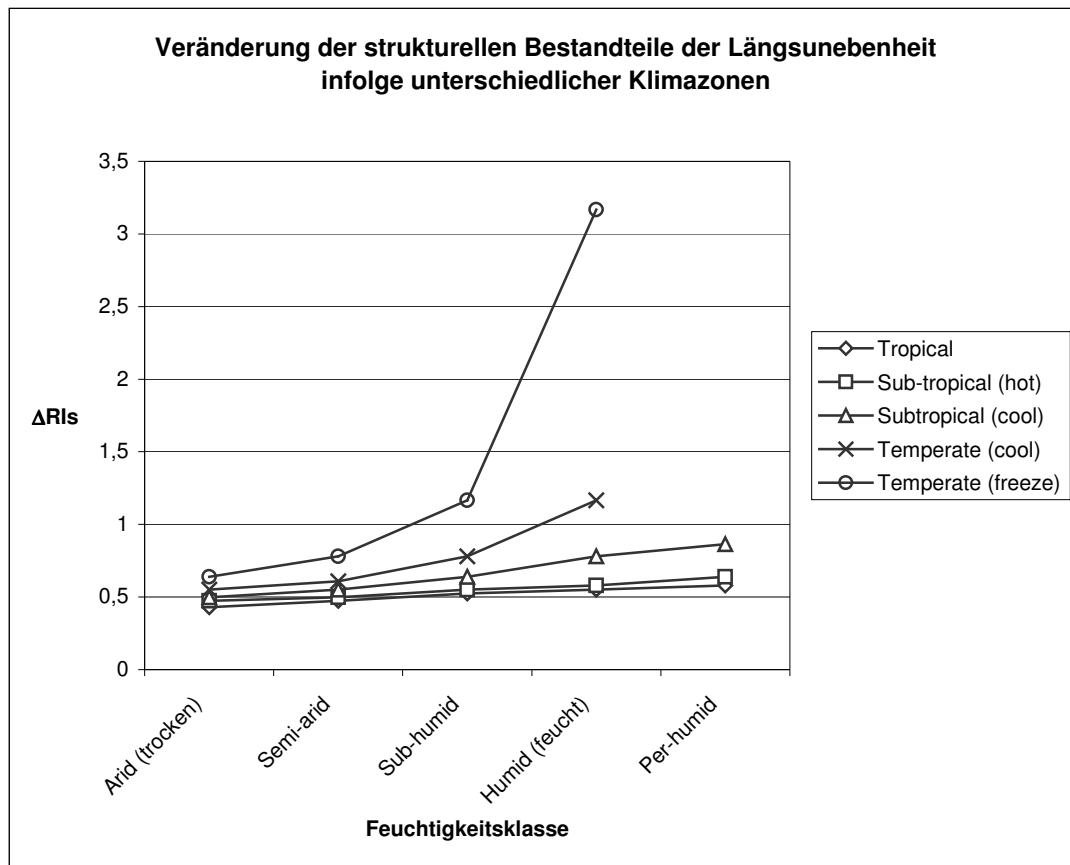


Abbildung 3-7: Veränderung der strukturellen Bestandteile der Längsunebenheit gemäß den Klimazonen

Das Diagramm (Abbildung 3-7) zeigt, welchen Einfluss die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf die Entwicklung der Längsunebenheit haben. Hier zeigt sich vor allem der große Einfluss tiefer Temperaturen.

*Rissbildung (*Cracking*) ΔR_{Ic}

Die zusätzliche Veränderung der Längsunebenheit ΔR_{Ic} infolge Rissbildung wird allein durch die prozentuale Veränderung des Rissanteils (prozentualer Anteil von der gesamten Fläche des betrachteten Abschnitts, der Risse an der Oberfläche aufweist) innerhalb des Analysejahres berücksichtigt. Hierzu wird der ermittelte Prozentanteil mit einem konstanten Faktor multipliziert, der den Einfluss der Risse auf die Längsunebenheit berücksichtigt. Nach einer Definition im HDM-4-Programm ist der betroffene Anteil der Straßenoberfläche, der Risse aufweisen darf im guten Zustand 0%, im angemessenen Zustand 5%, im schlechten Zustand 15% und im sehr schlechten Zustand 25%. Die Abbildung 3-8 zeigt grafisch den Einfluss des Zustandes der Rissbildung auf den zusätzlichen Anteil zur Längsunebenheit. Zu erkennen ist, dass ein hoher Rissanteil auch eine größere Auswirkung auf die Längsunebenheit hat.

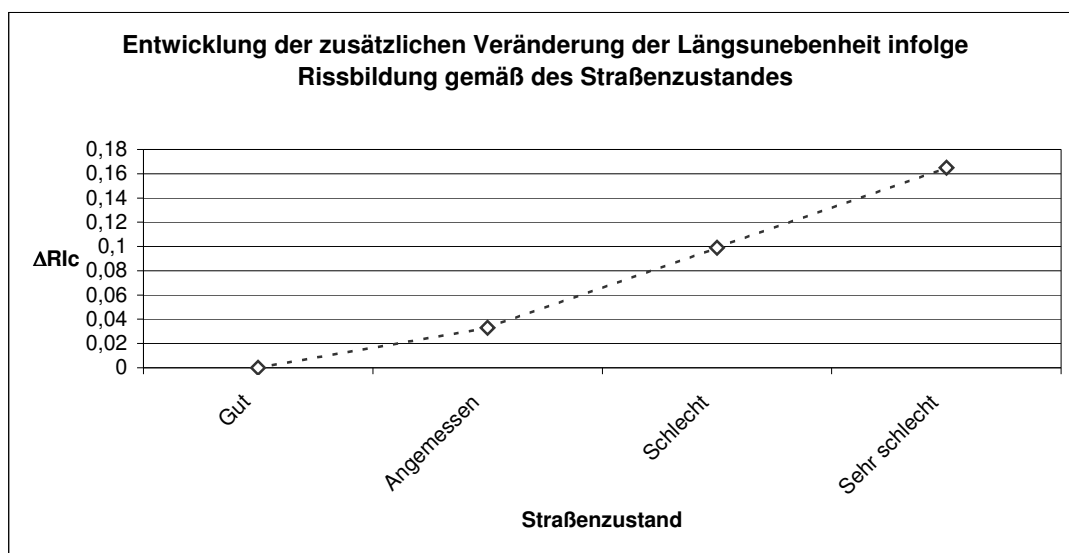


Abbildung 3-8: Entwicklung der zusätzlichen Veränderung der Längsunebenheit infolge Rissbildung

*Spurrinnen (*Rutting*) ΔR_{Ir}

Die zusätzliche Veränderung der Längsunebenheit infolge Spurrinnen ΔR_{Ir} wird durch die prozentuale Veränderung des Spurrinnenanteils innerhalb des Analysejahres berücksichtigt. Hierzu wird der ermittelte Prozentanteil mit einem konstanten Faktor multipliziert, der den Einfluss der Spurrinnen auf die Längsunebenheit berücksichtigt. Nach einer Definition im HDM-4-Programm ist der Anteil der Straßenoberfläche an Spurrinnen im guten Zustand 2%, im angemessenen Zustand 5%, im schlechten Zustand 15% und im sehr schlechten Zustand 25%. Je höher der Spurrinnenanteil ist, desto größer ist die Auswirkung auf die Längsunebenheit.

***Schlaglöcher (Potholing) ΔRIt**

Die Größe des zusätzlichen Anteils zur Längsunebenheit ist abhängig von der Anzahl der Fahrzeuge, die die Straße nutzen. Dabei ist auch die Verkehrsstärke und die Möglichkeit zum Ausweichen zu berücksichtigen [48]. Diese wird als *freedom to manoeuvre (FM)* bezeichnet und liegt zwischen 0 und 1 (s. Anlage A1). Zur genaueren Bestimmung müssen zusätzlich die Anzahl der vorhandenen Schlaglöcher und die der im Analysejahr neu hinzugekommenen bekannt sein. Nach einer Definition im HDM-4-Programm ist die Anzahl von Schlaglöchern im guten und im angemessenen Zustand 0, im schlechten Zustand 5 und im sehr schlechten Zustand 50 pro Kilometer. Die Schlaglöcher haben keinen Einfluss auf die Längsunebenheit wenn die Straße im guten oder im angemessenen Zustand ist. Befindet sich die Straße in sehr schlechten Zustand, dann haben die Schlaglöcher eine sehr große Auswirkung auf die Längsunebenheit.

***Klima ΔRIe**

Der Klimabestandteil der Längsunebenheitsänderung wird durch die Faktoren Temperatur und Feuchtigkeitsfluktuation bestimmt. Hieraus können sich z.B. Baugrundbewegungen ergeben, die aus der veränderten Steifigkeit der Böden resultieren. Eingangsgrößen zur Bestimmung des zusätzlichen Anteils auf die Längsunebenheit sind ein Kalibrierungsfaktor sowie ein Klimakoeffizient und die anfängliche Längsunebenheit. Die Auswirkungen unterschiedlicher klimatischer Bedingungen werden bereits bei den strukturellen Anteilen beschrieben.

***Gesamte Veränderung der Längsunebenheit ΔRI**

$$\Delta RI = K_{gp} \cdot [\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e \quad (\text{Gleichung 3-3})$$

Die gesamte Veränderung der Längsunebenheit ΔRI ergibt sich aus der Addition der zusätzlichen Anteile durch die Struktur, die Rissbildung, die Spurrinnen und der Schlaglöcher multipliziert mit einem Kalibrierungsfaktor K_{gp} . Der Anteil aus dem Klima wird hierbei ohne den Kalibrierungsfaktor berücksichtigt, da dieser Anteil bereits mit einem eigenen Klimafaktor beaufschlagt wurde.

Somit lässt sich die Längsunebenheit am Ende eines Analysejahres wie folgt beschreiben:

$$RIb = \text{MIN} [(RIa + \Delta RI), a0] \quad (\text{Gleichung 3-4})$$

Mit:

RIb	Längsunebenheit der Fahrbahn am Ende des Analysejahres (in IRI m/km)
RIa	Längsunebenheit der Fahrbahn am Anfang des Analysejahres (IRI m/km)
a0	obere Begrenzung der Längsunebenheit, spezifiziert vom Benutzer (Rückstellung = 16 IRI m/km)

Die resultierende Längsunebenheit ist die Summe aus der anfänglichen Längsunebenheit und dem zuvor bestimmten zusätzlichen Anteil. Dieser Wert ist nach oben auf einen IRI von 16 begrenzt, da dieses den höchsten zulässigen Wert für Asphaltstraßen darstellt.

Zusätzlich kann noch der Mittelwert der Anfangs- und Endlängsunebenheit eines Analysezeitraums ermittelt werden. Dies ist die Längsunebenheit, die vom HDM-4-Programm bei der Analyse bewertet wird [41].

Abschließend sei noch ein Beispiel zur Veränderung (struktureller Bestandteil, Rissbildung, Spurrinnen, Schlaglöcher, Klima) der Gesamtlängsunebenheit bei unterschiedlichen Ausgangszuständen vorgestellt. Aus der Abbildung 3-9 kann man sehr gut erkennen, dass eine bereits vorgeschädigte Straße sehr viel größere zusätzliche Längsunebenheiten bewirkt als eine Straße in gutem Zustand.

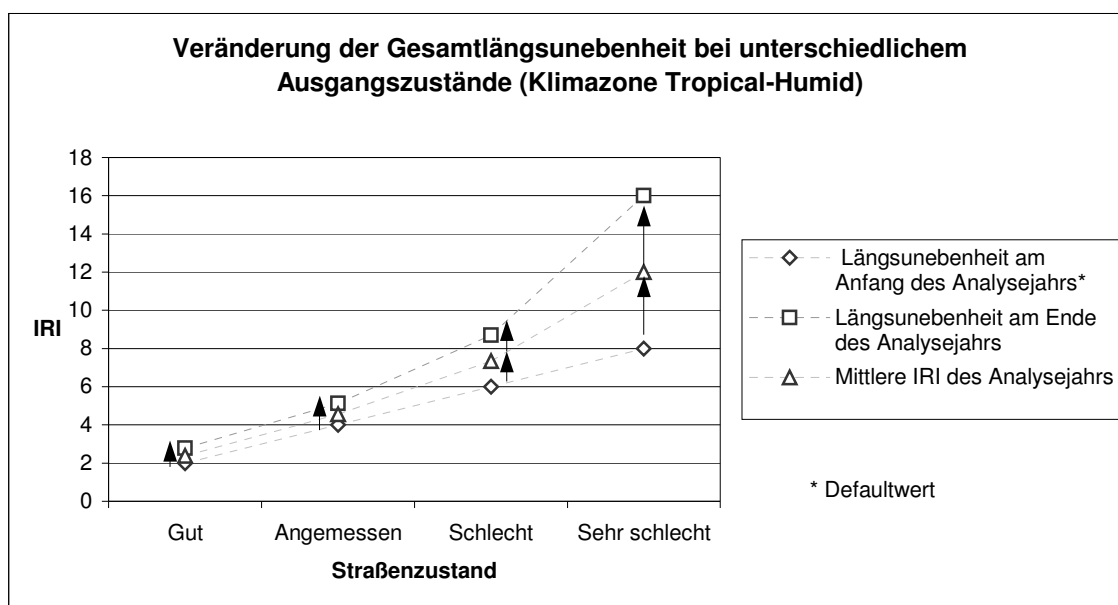


Abbildung 3-9: Beispiel der totalen Veränderung der Längsunebenheit (Klimazone: Tropical-Humid)

Die Kalibrierungsfaktoren müssen für jedes Land oder jede Region bestimmt werden. Wo diese Faktoren noch nicht bestimmt sind (z.B. in Kamerun), müssen die Defaultwerte vom HDM-4-Programm eingesetzt werden.

3.4.4.4.2 Längsunebenheit der ungebundenen Straßen

Ungebundene Straßen sind in den unteren Kategorien der Straßennetzhierarchie enthalten und haben im Allgemeinen die niedrigsten Verkehrsbelastungen ($DTV \leq 800$ Kfz/Tag).

Das HDM-4-Programm berücksichtigt drei Typen von ungebundenen Straßen: Kies-, Sand- und Erdstraßen. Dabei haben Kiesstraßen eine untere Schicht und eine Kiesdeckschicht.

Die Defaultwerte für die Dicke der Kiesdeckschichten in mm der ungebundenen Straßen ist in der Tabelle 3-6 zu sehen.

Tabelle 3-6: Defaultwerte der Dicke der Kiesdeckschicht in mm [25]

Verkehrsbelastung	Straßenzustand			
	Gut	Angemessen	Schlecht	Sehr schlecht
Hoch (800 Kfz/24h)	200	150	100	50
Mittel (175 Kfz/24h)	150	100	50	25
Niedrig (75 Kfz/24h)	100	50	25	0

Die Verschlechterung der ungebundenen Straßen wird hauptsächlich durch die Längsunebenheit und durch den Materialverlust gekennzeichnet.

Die Längsunebenheit der ungebundenen Straßen nimmt durch die Schubbeanspruchung zu. Die Auflockerung und die Oberflächenerosion des Materials wird durch den Verkehr und die Oberflächenentwässerung verursacht. Der IRI liegt normalerweise zwischen 4 und 15. Werte unter 4 können mit feinen Materialien erreicht werden. Ein IRI über 22 ist sehr selten, entspricht radgroßen Schlaglöchern und ist normalerweise nur auf kurzen Abschnitten zu sehen.

In der folgenden Tabelle (s. Tabelle 3-7) sind die Defaultwerte der Längsunebenheit je Straßenkategorie und je Straßenzustand zu sehen

Tabelle 3-7: Straßenzustandsmerkmale des Fahrkomforts für ungebundene Straßen [25]

Straßenkategorie	Fahrkomfort (<i>Ride Quality</i>) - Längsunebenheit [m/km] (<i>Roughness</i> , IRI)			
	<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>	<i>Bad</i>
Fernstraßen	4	6	8	10
Sekundäre Straßen	6	9	12	15
Tertiäre Straßen	8	12	16	20

Wegen der hohen Veränderlichkeit der Materialeigenschaften, der Oberflächenentwässerung, der Oberflächenerosion und des hohen Längsunebenheitsniveaus der ungebundenen Straßen liegt der vorhersagbare Standardfehler des IRI zwischen 1,5 und 2,5 [46].

***Entwicklung der Längsunebenheit der ungebundenen Straßen**

Die Modellform, die hier verwendet wird, begrenzt die Längsunebenheit auf einen maximalen Wert ($QIMAX_j$). Die maximale Längsunebenheit $QIMAX_j$ ist der schlechteste Wert (höchster Wert) der Längsunebenheit eines Materials j . Nach dem Wert $QIMAX_j$ wird die Straße unbefahrbar.

Der maximale Wert der Längsunebenheit setzt sich zusammen aus den Materialeigenschaften (Feinkornanteil des Materials - *Material gradation dust ratio*)“

MGD_j), der durchschnittlichen horizontalen Kurvigkeit C , der durchschnittlichen Steigung und Gefälle der Straße RF sowie dem durchschnittlichen monatlichen Niederschlag MMP und wird wie folgt angegeben:

$$QIMAX_j = MAX [279 - 421(0,5 - MGD_j)^2 + 0,22 \cdot C - 9,930 \cdot RF \cdot MMP \cdot 10^{-3}, 150]$$

(Gleichung 3-5)

Mit:

C	Durchschnittliche horizontale Kurvigkeit (in Grad/km)
RF	Durchschnittliche Steigung + Gefälle (in m/km)
MMP	Durchschnittlicher monatlicher Niederschlag (in mm/Monat)
MGD_j	Feinkornanteil des Materials j (<i>gradation dust ratio</i>)

Wenn die Menge vom Material j mit Korngröße $\leq 0,425$ mm null ist, dann ist MGD_j gleich 1, und wenn die Menge vom Material j mit Korngröße $\leq 0,425$ mm größer als null ist, dann wird das „*Material gradation dust ratio*“ MGD_j wie folgt angegeben:

$$MGD_j = \frac{P075_j}{P425_j}$$

(Gleichung 3-6)

Mit:

MGD_j	Feinkornanteil des Materials j (<i>gradation dust ratio</i>)
$P425_j$	Menge vom Material j mit Korngröße $\leq 0,425$ mm (in % durch Masse)
$P075_j$	Menge vom Material j mit Korngröße $\leq 0,075$ mm (in % durch Masse)

Die folgende Tabelle (Tabelle 3-8) zeigt die Definition und die Eigenschaften der Deckschichtmaterialien der ungebundenen Straßen.

Tabelle 3-8: Deckschichtenmaterialeigenschaften der ungebundenen Straßen [25]

Deckschichtenmaterial	maximale Korngröße (mm)	Korngröße $\leq 2,0$ mm	Korngröße $\leq 0,425$ mm	Korngröße $\leq 0,075$ mm	Plastizitätszahl (%)
Laterit Kies	21,9	51,1	41,6	25,5	10,1
Quartzit Kies	23,8	57,5	44,6	24,2	9,1
Vulkanischer Kies eckig	25,0	49,3	38,0	23,5	17,0
Koralle Kies eckig	21,0	64,3	49,0	25,0	13,0
Erde	4,8	90,5	84,9	70,2	15,8

Die maximale Längsunebenheit je Straßendeckenmaterialtyp ist in der Abbildung 3-10 dargestellt.

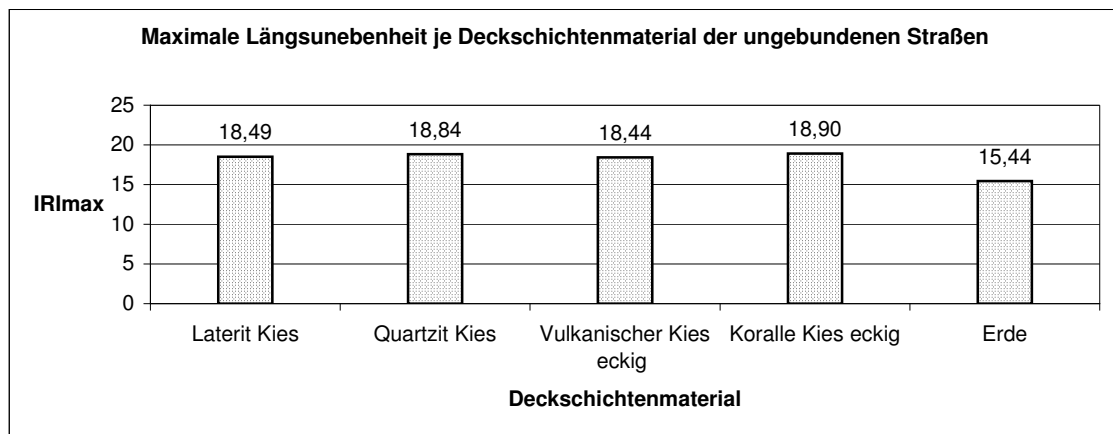


Abbildung 3-10: Maximale Längsunebenheit je Deckschichtenmaterial der ungebundenen Straßen

Beim Betrachten der Abbildung 3-10 fällt auf, dass außer bei den Erdstraßen alle ungebundenen Straßen eine maximale Längsunebenheit über 18 haben. Die maximale Längsunebenheit ist abhängig von dem Feinkornanteil des Materials, der bei natürlich anstehender Erde größer ist als bei anderen Materialtypen.

Die Abbildung 3-11 zeigt die maximale Längsunebenheit als Funktion der Klimazone für Laterit Kies.

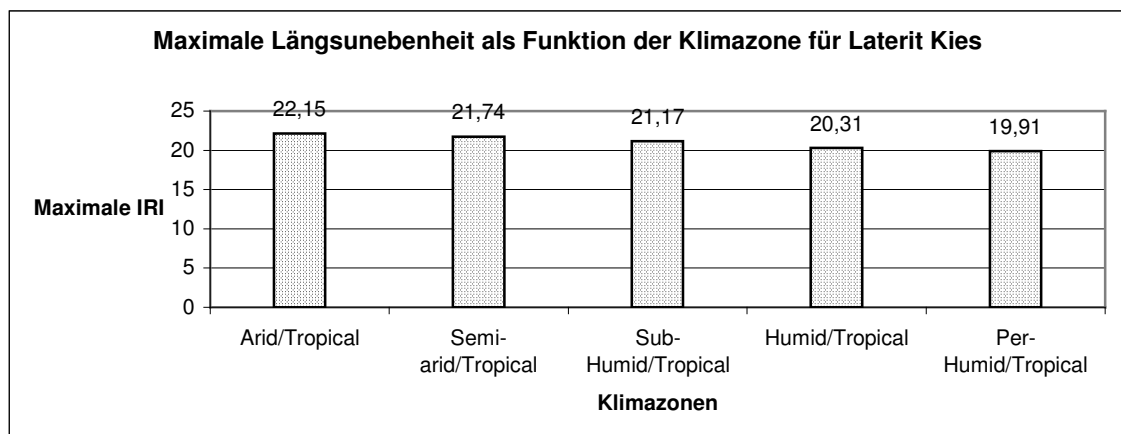


Abbildung 3-11: Maximale Längsunebenheit als Funktion der Klimazone für Laterit Kies

In Abbildung 3-11 fällt auf, dass bei dem Laterit-Kies die maximale Längsunebenheit besser wird, je mehr Regen in einem Gebiet fällt. Der Grund dafür liegt darin, dass in trockenen Gebieten die Auflockerung und die Oberflächenerosion zu einer größeren Verschlechterung der Längsunebenheit führt.

Die Rate der Längsunebenheitsentwicklung ist eine Funktion der Längsunebenheit, der maximalen Längsunebenheit, der Zeit, der Verkehrsbelastung, der Materialeigenschaften und der Modellparameter b [42]. Sie wird wie folgt angegeben:

$$QITG_2 = QIMAX_j - b \cdot (QIMAX_j - QITG_1) \quad (\text{Gleichung 3-7})$$

Wobei:

$QITG_1$	Längsunebenheit zum Zeitpunkt TG_1
$QITG_2$	Längsunebenheit zum Zeitpunkt TG_2
TG_1, TG_2	Ablaufzeit seit dem letzten Einebnen der Straßenoberfläche (<i>Grading</i>) [Anzahl der Tage]
$QIMAX_j$	Maximale Längsunebenheit für das Material j
QI	Längsunebenheit: $QI = 13 \cdot (IRI)$ [42]
b	Modellparameter ($0 < b < 1$)

Der Modellparameter b setzt sich zusammen aus den Längsunebenheiten zum Zeitpunkt TG_1 und zum Zeitpunkt TG_2 , der durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung (DTV) der Leichtfahrzeuge (PKW) in beiden Richtungen, der DTV der Schwerfahrzeuge (LKW) in beiden Richtungen, dem durchschnittlichen monatlichen Niederschlag und wird wie folgt berechnet:

$$b = \exp[c \cdot (TG_2 - TG_1)] \quad (\text{Gleichung 3-8})$$

$$c = -(0,461 + 0,0174 \cdot ADL + 0,0114 \cdot ADH - 2,87 \cdot AADT \cdot MMP \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-3}$$

(Gleichung 3-9)

Mit:

ADL	Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung (DTV) der Leichtfahrzeuge (PKW) in beide Richtungen (in Kfz/Tag)
ADH	DTV der Schwerfahrzeuge (LKW) in beide Richtungen (in Kfz/Tag)
$AADT$	Jährliche DTV in beide Richtungen (in Kfz/Tag)
MMP	Durchschnittlicher monatlicher Niederschlag (in mm/Monat)
b	Modellparameter ($0 < b < 1$)
c	Modellkoeffizient

*Minimale Längsunebenheit

Die minimale Längsunebenheit $QIMIN_j$ ist der beste Wert (kleinster Wert) der Längsunebenheit eines Materials j. Nach dem Bau einer ungebundenen Straße wird die Längsunebenheit zum minimal zulässigen IRI-Wert des Materials j gesetzt [42].

Die Berechnung der minimalen Längsunebenheit $QIMIN_j$ kann der Anlage A1 entnommen werden.

***Mittlerer Wert der Längsunebenheit während des Analysejahrs**

Der mittlere Wert der Längsunebenheit während des Analysejahrs wird so berechnet, dass man das Verhältnis der Weiterentwicklung der Längsunebenheit und den *Gradingeffekt* kombiniert und integriert. Der mittlere Wert der Längsunebenheit wird im Bezug auf die Längsunebenheit am Anfang des Jahres und den vordefinierten Parametern ausgedrückt.

3.4.4.5 Verkehrsdaten

Das normale Verkehrsaufkommen ist durch folgende Daten festgelegt:

- durchschnittlich täglicher Verkehr („*annual average daily traffic*“: AADT)
- prozentueller Anteil an der gesamten Verkehrsbelastung für jeden Fahrzeugtyp
- Entwicklung des Verkehrsaufkommens

Das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen des Jahres y wird wie folgt berechnet:

$$AADT_y = AADT_{\text{Anfangsjahr}} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{(y-1)} \quad (\text{Gleichung 3-10})$$

Mit:

$AADT_y$	durchschnittlich tägliches Verkehrsaufkommen des Jahres y (Fahrzeuge pro Tag)
$AADT_{\text{Anfangsjahr}}$	durchschnittlich tägliches Verkehrsaufkommens des Anfangsjahres (Fahrzeuge pro Tag)
p	Jährliche Zuwachsrate des Verkehrsaufkommens (%)

3.4.4.6 Interventionswert

Die Eingreifkriterien müssen festgelegt werden. Diese sind vom Interventionstyp (Bauliche Maßnahme) und vom Straßentyp abhängig. Es handelt sich prinzipiell immer um das Interventionsintervall und die zeitlichen Grenzen des Einschreitens. Das Interventionsintervall wird in Jahren angegeben, aber auch durch die Quantifizierung von Schäden oder durch die Angabe von Grenzwerten. Für die Verbesserungsmaßnahmen besteht die Wahl zwischen einer planmäßigen Vorgehensweise (*scheduled*) und einer reagierenden Vorgehensweise (*responsive*).

3.4.5 Bauliche Maßnahmen

Die Baulichen Maßnahmen (*work standards*) sind unterteilt in Wartungsarbeiten (*maintenance standards*) und Ausbesserungsarbeiten (*improvement standards*). Im HDM-4-Programm sind bereits einige bauliche Maßnahmen vordefiniert. Das Programm bietet eine große Menge möglicher Unterhaltungs-, Erhaltungs- und Neubaumaßnahmen an. Diese können aber erweitert werden. Beispiele der baulichen Maßnahmen sind: Verfüllen von Schlaglöchern, Oberflächenbehandlung, Erneuerung der Deckschicht, Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes, Straßenverbreiterung und Streifenhinzufügung. Die Auflistung der Arbeitsschritte (*work items*) ist im Programm zu finden. Die Einheitskosten der baulichen Maßnahmen werden festgehalten.

***Verschiedene Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen der ungebundenen Straßen und deren Wirkungen auf die Längsunebenheit**

Die Unterhaltung und Erhaltung der ungebundenen Straßen enthalten folgende Maßnahmen:

- Periodisches Einebnen der Straßenoberfläche (*Grading*)
- Lokale Wiederherstellung der Straßenoberfläche (*Spot Regravelling*)
- Wiederherstellung der Straßenoberfläche (*Regravelling oder Gravel resurfacing*)

a) Grading

Bei dieser Unterhaltungsmaßnahme wird der Kies vom Standstreifen zur Fahrbahn zurückgeschoben und die Straßenoberfläche eingeebnet. Dies führt zu einer Reduzierung der Längsunebenheit.

Der Effekt des *Grading* auf die Längsunebenheit hängt von der Längsunebenheit vor dem *Grading*, von den Materialeigenschaften und der minimalen Längsunebenheit (QIMINj) ab. Die minimale Längsunebenheit, unterhalb derer das *Grading* die Längsunebenheit nicht verringern kann, erhöht sich, wenn die maximale Korngröße sich erhöht und die Abstufung des Straßenoberflächenmaterials sich verschlechtert. Die Vorhersage der Längsunebenheit nach dem Einebnen der Straßenoberfläche wird als eine lineare Funktion der Längsunebenheit vor dieser Unterhaltungsmaßnahme, des Feinkornanteils und der maximalen Längsunebenheit ausgedrückt. Die genaue Berechnung ist in der Anlage A1 zu sehen. Der Effekt des Einebnens der Straßenoberfläche (*Grading*) auf die Entwicklung der Längsunebenheit ist in der Abbildung 3-12 dargestellt. Es ist deutlich, dass ausgehend von dem Anfangszustand (gut bis sehr schlecht) der Einfluss des *Grading* auf die Längsunebenheit sehr unterschiedlich ist und bei Straßen mit einem guten Ausgangszustand kaum Veränderung ergibt.

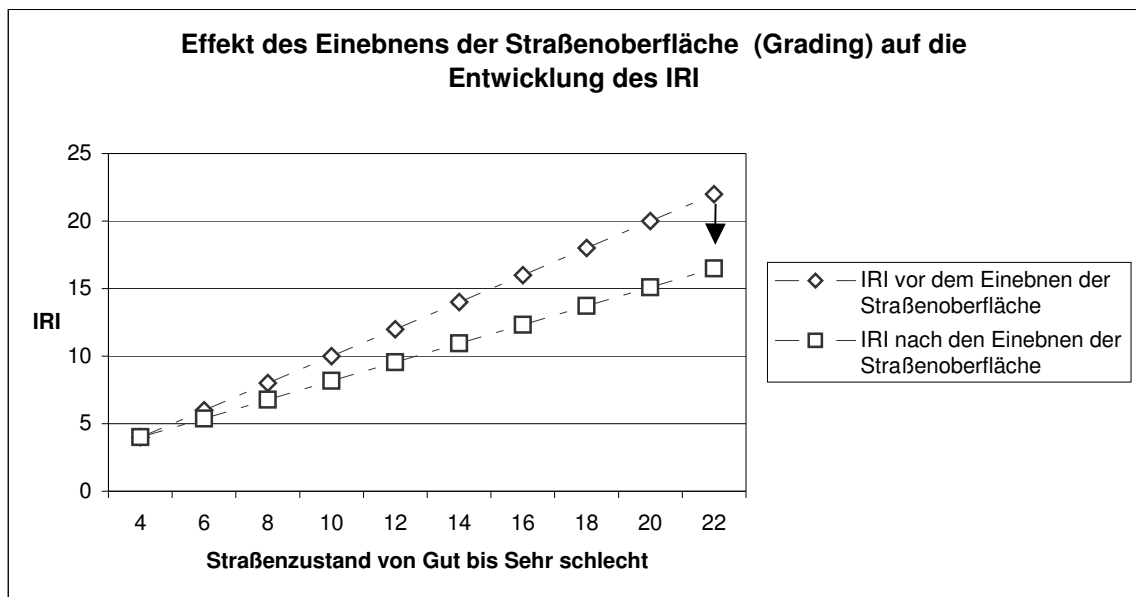


Abbildung 3-12: Effekt des Einebnens der Straßenoberfläche auf die Entwicklung des IRI

Effekt der Verdichtung auf die Entwicklung der Längsunebenheit

Die Beobachtung der Kies- und Erdstraßen in den ersten Zyklen des Einebnens der Straßenoberfläche (*Grading*) nach dem Bau oder der vollen Rehabilitation mit mechanischer Verdichtung zeigt eine Rate der Längsunebenheitsentwicklung, die viel langsamer als die gegebene Rate des Modells ist (s. oben). Dieser Funktionsverlauf wurden von den Straßen unter wiederholtem *Grading* ohne spezielle Verdichtung abgeleitet. Die Berechnung des Effekts der Verdichtung auf die Entwicklung der Längsunebenheit kann der Anlage A1 entnommen werden.

b) Lokale Wiederherstellung (*Spot Regravelling*)

Bei dieser Maßnahme geht es um die Beseitigung einzelner Schadstellen mit Kiesverlust, Spurrinnen (*rutting*) oder Schlaglöchern. Es wird angenommen, dass die Beseitigung der einzelnen Schadstellen mit Kies zur Reduzierung der Längsunebenheit der Straßenoberfläche führt. Die IRI über 15 sind mit Schlaglöchern auf der Straßenoberfläche verbunden. Dies kann durch das *Spot regravelling* saniert werden. Wenn der IRI zwischen 11 und 15 liegt, sind zwar Schlaglöcher auf der Straßenoberfläche, aber deren Sanierung hat keinen Effekt auf die Längsunebenheit [42]. Diese Logik wird im folgenden Algorithmus definiert:

$$QI_{avg(aw)} = MAX \left\{ 150, \left[QI_{avg(bw)} - MIN \left(1, \frac{[QI_{avg(bw)} - 150]}{40} \right) \cdot \frac{3,6 \cdot VGS}{CW} \right] \right\}$$

(Gleichung 3-11)

Mit:

$QI_{avg (aw)}$	Mittlere Längsunebenheit nach Spot regravelling
$QI_{avg (bw)}$	Mittlere Längsunebenheit vor Spot regravelling
VGS	Volumen des zusätzlichen Materials infolge Spot regravelling
CW	Breite der Fahrbahn (in m)

c) Wiederherstellung der Straßenoberfläche (*Regravelling* oder *Gravel resurfacing*)

Bei dieser Unterhaltungsmaßnahme werden verlorene Materialien ersetzt und die Straßenoberfläche wiederhergestellt. Nach dieser Erhaltungsmaßnahme wird die Kiesdeckschicht so dicht wie nach dem Bau der Straße.

Die Längsunebenheit nach dem *Regravelling* wird zum festgelegten Wert des Programmbenutzers zurückgesetzt. Wenn dieser Wert nicht festgelegt ist, wird die Längsunebenheit nach der Unterhaltungsmaßnahme zum minimalen zulässigen Wert des IRI zurückgesetzt [39], [41].

3.4.6 Fahrzeugdaten

Eine Fahrzeugflotte besteht aus einer Anzahl von Fahrzeugen, welche mit ihren Eigenschaften aufgelistet sind. Es gibt sowohl motorisierte als auch nicht motorisierte Fahrzeuge. Für die motorisierten Fahrzeuge ergibt sich die Möglichkeit der Auswahl aus einer großen Anzahl von Grundfahrzeugarten. Diese reicht vom normalen PKW, über Motorräder, Kleintransporter und verschiedene Bustypen bis hin zu einer größeren Anzahl von LKW und Lastzügen. Die relevanten Fahrzeugeigenschaften sowie die verschiedenen Einheitskosten werden angegeben [61], [62].

3.4.6.1 Fahrzeugachsen

Für jeden Fahrzeugtyp k wird die Anzahl der Fahrzeugachsen, die auf dem gegebenen Straßenabschnitt im laufenden Jahr je Fahrspur gefahren sind, YAX_k , wie folgt berechnet:

$$YAX_k = \frac{T_k \cdot (NUM_AXLES_k)}{(ELANES) \cdot 10^6} \quad (\text{Gleichung 3-12})$$

$$YAX = \sum_{k=1}^K YAX_k \quad (\text{Gleichung 3-13})$$

Mit:

YAX_k	Anzahl der Fahrzeugachsen des Fahrzeugtyps k
YAX	jährliche gesamte Anzahl der Achsen aller Fahrzeugtypen
T_k	Jährliches Verkehrsaufkommen des Fahrzeugtyps k, (k= 1,2,...,K)
NUM_AXLES_k	Anzahl der Achsen pro Fahrzeugtyp k
$ELANES$	Effektive Anzahl der Streifen des Straßenabschnittes (Fahrspur)

3.4.6.2 Äquivalenter Achslastfaktor ESALF

Der ESALF-Wert gibt die Anzahl äquivalenter Standardachsen pro Fahrzeug an. Dieser Wert wird für jeden Fahrzeugtyp entweder vom Benutzer spezifiziert oder aus Achslastinformationen, die in der Fahrzeugflotte des Programms definiert sind, berechnet.

Für jeden Fahrzeugtyp k wird $ESALF_k$ mit Informationen der unterschiedlichen Schädigungswirkungen der verschiedenen Achsenkonfigurationen berechnet. Für jeden Achsgruppentyp j wird die Standardachslast $SAXL_j$ zur Bestimmung des Lastverhältnisses benutzt. Der ESALF-Wert wird wie folgt berechnet [41]:

$$ESALF_k = \sum_{i=1}^{I_k} \frac{P_{ki}}{100} \sum_{j=1}^{J_k} \left(\frac{AXL_{kij}}{SAXL_j} \right)^{LE} \quad (\text{Gleichung 3-14})$$

Der äquivalente Achslastfaktor $ESALF_k$ ist der durchschnittliche Wert aller Fahrzeuge des Typs k, beladen oder entladen.

Die jährliche gesamte Anzahl der äquivalenten Achslasten wird wie folgt berechnet:

$$YE4 = \sum_{k=1}^K \frac{T_k \cdot ESALF_k}{ELANES \cdot 10^6} \quad (\text{Gleichung 3-15})$$

Mit:

$ESALF_k$	äquivalenter Standardachsenfaktor des Fahrzeugtyps k (in äquivalenten Standardachsen)
I_k	Anzahl der Untergruppe i (definiert in Form von „load range“) von jedem Fahrzeugtyp k (i= 1,2,..., I_k), i kann jeden Fahrzeugtyp repräsentieren
P_{ki}	Anteil der Fahrzeuge in Untergruppe i des Fahrzeugtyps k. Wenn i Fahrzeugtyp repräsentiert, dann $P_{ki} = 100$ (in %)
LE	Achslastäquivalenzexponent (Defaultwert = 4,0)
J_k	Anzahl Einzelachsen pro Fahrzeug des Typs k (j= 1,2,..., J_k)
AXL_{kij}	Mittlere Last auf der Achse j der „load range“ i des Fahrzeugtyps k (in Tonnen)
$SAXL_j$	Standardeinzellastachsen des Achsengruppentyps j, zum Beispiel 6,6 Tonnen für Einzelrad der Einzelachse; 8,16 Tonnen für Zwillingssrad der Einzelachse, etc.
YE4	jährliche gesamte Anzahl der Äquivalenten Achslast (in Millionen pro Fahrstreifen, <i>millions per lane</i>)

Andere Parameter sind in Kapitel 3.4.6.1 definiert.

3.4.7 Klimadaten

Die klimatischen Rahmenbedingungen haben entscheidenden Einfluss auf die Haltbarkeit einer Straße. Das HDM-4-Programm berücksichtigt die Klimadaten Temperatur und Niederschlagsmenge [68]. Die im Programm vordefinierten Feuchtigkeitsklassen sind: *Arid* (trocken) - bis 300 mm jährliche Niederschlagsmenge, *Semi-Arid* - zwischen 300 und 800 mm, *Sub-Humid* – zwischen 800 und 1600 mm, *Humid* (feucht) – zwischen 1500 und 3000 mm und *Per-Humid* – mehr als 2400 mm jährliche Niederschlagsmenge. Die vordefinierte Temperaturklassen sind: *Tropical*, *Sub-Tropical Hot*, *Sub-Tropical Cool*, *Temperate Cool* und *Temperate Freeze*. Sollte das Untersuchungsgebiet nicht in einer vordefinierten Klimazone liegen, so kann eine neue Klimazone nach den Klimadaten der Region definiert werden.

3.4.8 Wirtschaftliche Analyse im HDM-4-Programm

3.4.8.1 Vergleich der verschiedenen Investitionsoptionen

Die Baulastträgerkosten einerseits und die Straßennutzerkosten andererseits machen den Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen einer Erhaltungsmaßnahme und der sogenannten Basisoption in einem Bewertungszeitraum möglich. Für die Basisoption kann im einfachsten Fall keine „Erhaltungsmaßnahme“ oder die „bisher angewandte Erhaltung“ ausgewählt werden. Für ein Straßennetz kann eine Reihe von Erhaltungsalternativen definiert und mit der Basisoption verglichen werden, wobei für alle Strategien die gleichen Datenansätze gelten.

Die Wirtschaftlichkeit einer Straßenunterhaltungsmaßnahme wird anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse (*cost-benefit-analysis*) beschrieben.

3.4.8.2 Bestimmung von Kosten und Nutzen

3.4.8.2.1 Baulastträgerkosten (Road Administration Costs, RAC)

Der Kostenunterschied (*cost differences*) zwischen 2 Investitionsoptionen m und n in einem bestimmten Jahr wird wie folgt berechnet:

$$\Delta C_{(m-n)i} = \left[\sum_1^s C_{mis} - \sum_1^s C_{nis} \right] \quad (\text{Gleichung 3-16})$$

Mit:

$\Delta C_{(m-n)i}$	Kostenunterschied zwischen den Baulastträgerkosten der Alternativoption m und der Basisoption n für die Budgetkategorie (<i>budget categories</i>) i
C_{jis}	Gesamtkosten für Baulastträger für die Investitionsoption j (j = n oder m), für die Budgetkategorie i und für den Straßenabschnitt s

Der Unterschied der jährlichen Baulastträgerkosten wird wie folgt angegeben:

$$\Delta RAC_{(m-n)} = \sum_1^i \Delta C_{(m-n)i} \quad (\text{Gleichung 3-17})$$

Mit:

$\Delta RAC_{(m-n)}$	Kostenunterschied der jährlichen Baulasträgerkosten (<i>difference in annual costs to road administration</i>) der Alternativoption m und der Basisoption n für die Budgetkategorie i. (Summierung über alle Budgetkategorien)
----------------------	--

3.4.8.2.2 Einsparung der Straßennutzerkosten (*Road Users Costs, RUC*)

Der jährliche Gewinn bei der Einsparung der Straßennutzerkosten wird getrennt nach Bestandteilen berechnet:

a) Einsparung der Fahrzeugbetriebskosten

Der Nutzen der Fahrzeugbetriebskosten infolge von normalem und umgeleitetem Verkehr wird wie folgt berechnet:

$$\Delta VCN_{(m-n)} = \left[\sum_1^s VCN_{ms} - \sum_1^s VCN_{ns} \right] \quad (\text{Gleichung 3-18})$$

$$VCN_{js} = \sum_1^k TN_{jsk} \cdot UC_{jsk} \quad (\text{Gleichung 3-19})$$

Der Nutzen der Fahrzeugbetriebskosten infolge vom erzeugtem Verkehr (*generated Traffic*) wird wie folgt berechnet:

$$\Delta VCG_{(m-n)} = \left[\sum_1^s \sum_1^k \{0,5 \cdot [TG_{msk} + TG_{nsk}] \cdot [UC_{msk} - UC_{nsk}]\} \right] \quad (\text{Gleichung 3-20})$$

Die Summierung gilt für alle motorisierten Fahrzeuge ($k= 1,2,3, \dots, K$) und alle analysierten Straßenabschnitten ($s= 1,2, 3, \dots, S$).

Die jährliche Einsparung der Fahrzeugbetriebskosten wird wie folgt berechnet:

$$\Delta VOC_{(m-n)} = \left[\sum_1^s VCN_{(m-n)} + \sum_1^s VCG_{(n-k)} \right] \quad (\text{Gleichung 3-21})$$

Mit:

$\Delta VCN_{(m-n)}$	Nutzen des Fahrzeugbetriebs (<i>vehicle operating benefits</i>) infolge von normalem und umgeleitetem Verkehr der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n
ΔVCN_{js}	Jährliche Fahrzeugbetriebskosten infolge von normalem und umgeleitetem Verkehr für den Straßenabschnitt s und die Investitionsoption j
TN_{jsk}	Normaler und umgeleiteter Verkehr, in Fahrzeuganzahl pro Jahr in beide Richtungen für den Straßenabschnitt s für die Alternativoption j und den Fahrzeugtyp k

UC_{jsk}	Jährliche durchschnittliche Betriebskosten pro Fahrt für den Fahrzeugtyp k, den Straßenabschnitt s und die Alternativoption j
VCG_{js}	Jährliche Fahrzeugbetriebskosten infolge des erzeugten Verkehrs für den Straßenabschnitt s und die Alternativoption j
$\Delta VCG_{(m-n)}$	Nutzen des Fahrzeugbetriebs infolge des erzeugten Verkehrs für die Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n
TG_{jsk}	Erzeugter Verkehr, in Fahrzeuganzahl pro Jahr in beide Richtungen für den Straßenabschnitt s für die Alternativoption j und den Fahrzeugtyp k
$\Delta VOC_{(m-n)}$	Einsparung in Fahrzeugbetriebskosten infolge des Gesamtverkehrs der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n

*Zusammenhang zwischen den Fahrzeugbetriebskosten (VOC) und der Längsunebenheit

Es gibt einen Zusammenhang zwischen den Fahrzeugbetriebskosten (VOC) und der Längsunebenheit (ausgedrückt durch den *International Roughness Index*, Unebenheitsindex IRI). Dieser Zusammenhang wird mit der folgenden Formel beschrieben

$$VOC = a_0 + a_1(IRI) + a_2(IRI)^2 + a_3(IRI)^3 \quad (\text{Gleichung 3-22})$$

Die Berechnungen der Koeffizienten a_0, a_1, a_2 und a_3 können mit Hilfe des Programms „HDM-4 Vehicle Operating Costs Modul Version 3.2“ (*Roads Economic Decision Model, RED*) der Welt-Bank durchgeführt werden. Diese Koeffizienten sind von der Straßengeometrie, dem Straßentyp (Asphalt-, Kies- oder Erdstraßen) und vom Fahrzeugtyp abhängig. Die Einheitskosten sind von den lokalen Bedingungen abhängig.

Zum Beispiel für eine asphaltierte Straße in Kamerun, die die Geometrie der Fernstraße Douala – Yaounde hat, ist der Zusammenhang zwischen VOC und IRI für die Fahrzeugtypen PKW, mittlerer LKW und Gegliederter LKW in der Abbildung 3-13 dargestellt. Für diese Beispiele sind die Koeffizienten mit dem oben genannten Programm bestimmt worden (s. Tabelle 3-9).

Tabelle 3-9: Werte der Koeffizienten (Relation zwischen VOC und IRI)

Fahrzeugtyp	Koeffizienten				Korrelation (R²)
	a_0	a_1	a_2	a_3	
PKW	0,316299	-0,004058	0,001169	-0,000021	0,98351933
Mittlerer LKW	0,702045	0,014894	0,001751	-0,000032	0,99627084
Gegliederter LKW	1,431971	0,016778	0,003938	-0,000071	0,99424568

Die Abbildung 3-13 zeigt graphisch den Einfluss des Straßenzustandes (IRI) auf die Fahrzeugbetriebskosten.

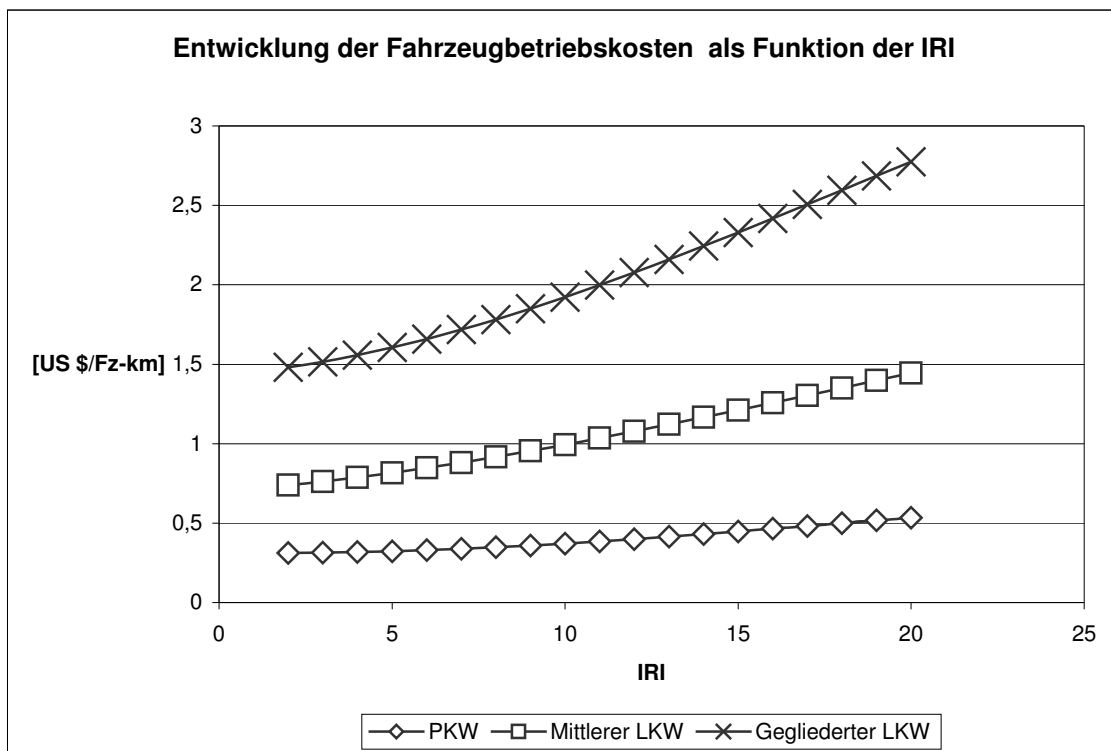


Abbildung 3-13: Beispiel der Entwicklung der Fahrzeugbetriebskosten als Funktion der IRI

b) Einsparung der Reisezeitkosten

Der Reisezeitgewinn infolge von normalem und umgeleitetem Verkehr wird wie folgt berechnet:

$$\Delta TCN_{(m-n)} = \left[\sum_1^s TCN_{ns} - \sum_1^s TCN_{ms} \right] \quad (\text{Gleichung 3-23})$$

$$TCN_{ns} = \sum_1^k TN_{jsk} \cdot UT_{jsk} \quad (\text{Gleichung 3-24})$$

Der Reisezeitgewinn infolge des erzeugten Verkehrs wird wie folgt gerechnet:

$$\Delta TCG_{(m-n)} = \left[\sum_1^s \sum_1^k \{0,5 \cdot [TG_{msk} + TG_{nsk}] \cdot [UT_{nsk} - UT_{msk}]\} \right] \quad (\text{Gleichung 3-25})$$

Die jährliche Einsparung der Reisezeitkosten wird wie folgt berechnet:

$$\Delta TTC_{(m-n)} = \left[\sum_1^s TCN_{(m-n)} + \sum_1^s TCG_{(m-n)} \right] \quad (\text{Gleichung 3-26})$$

Mit:

$\Delta TCN_{(m-n)}$	Nutzen der Reisezeit (<i>travel time benefits</i>) infolge vom normalem und umgeleitetem Verkehr der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n
TCN_{js}	Jährliche Reisezeitkosten infolge vom normalem und umgeleitetem Verkehr für den Straßenabschnitt s und die Alternativoption j
UC_{jsk}	Jährliche durchschnittliche Betriebskosten pro Fahrzeugsreise (<i>vehicle-trip</i>) für der Fahrzeugtyp k, der Straßenabschnitt s und die Alternativoption j
TCG_{js}	Jährliche Reisezeitkosten infolge der erzeugten Verkehr für der Straßenabschnitt s und die Alternativoption j
$\Delta TCG_{(m-n)}$	Nutzen der Reisezeit infolge des erzeugten Verkehrs für die Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n
$\Delta TTC_{(m-n)}$	Einsparung der Reisezeitkosten infolge des Gesamtverkehrs der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n

c) Verringerung der Unfallkosten

Der Gewinn aus der Verringerung der gesamten Unfallkosten wird wie folgt angegeben:

$$\Delta ACN_{(m-n)} = [AC_n - AC_m] \quad (\text{Gleichung 3-27})$$

Mit:

$\Delta ACN_{(m-n)}$	Nutzen infolge Unfallreduzierung der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n
AC_j	Gesamtunfallkosten der Alternativoption j (mit j= n oder m)

Die jährliche Reduzierung der volkswirtschaftlichen Kosten (*road user benefits*) wird wie folgt angegeben.

$$\Delta RUC_{(m-n)} = [\Delta VOC_{(m-n)} + \Delta TTC_{(m-n)} + \Delta ACN_{(m-n)}] \quad (\text{Gleichung 3-28})$$

Mit:

$\Delta RUC_{(m-n)}$	Gesamte Einsparung des Straßennutzers der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n
----------------------	---

3.4.8.2.3 Jährlicher Nettogewinn

Der Jährliche Nettogewinn (*annual net economic benefits*) der Alternativoption m im Vergleich zur Basisoption n setzt sich zusammen aus den reduzierten volkswirtschaftlichen Kosten sowie den Investitionskosten für den Straßenbau.

$$NB_{y(m-n)} = [\Delta RUC_{y(m-n)} - \Delta RAC_{y(m-n)}] \quad (\text{Gleichung 3-29})$$

$NB_{y(m-n)}$	Nutzen (Gewinn) der Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n im Jahr y
---------------	---

*** Beispiel zur Berechnung der Kosten einer in der Regenzeit schwer befahrbaren ungebundenen Straße**

In der Regenzeit sind die ungebundenen Straßen schwer befahrbar. Die folgende Abbildung zeigt die schwere Befahrbarkeit einer ungebundenen Straße in der Regenzeit.

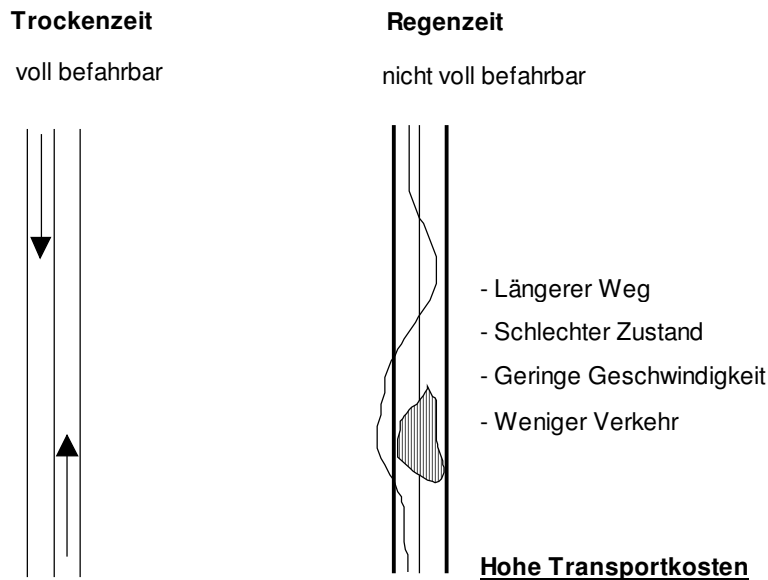


Abbildung 3-14: Befahrbarkeit eine ungebundene Straße in der Trocken- und Regenzeit

Die Kosten infolge schwerer Befahrbarkeit einer ungebundenen Straße werden wie folgt berechnet:

$$CPASS_k = VC_{kav} \cdot (FPASS_k - 1) \quad (\text{Gleichung 3-30})$$

$$FPASS_k = 1 + (FPLIM_k - 1) \cdot \text{MAX} \left[0, \left(1 - \frac{GH}{GHMIN} \right) \right] \quad (\text{Gleichung 3-31})$$

Mit:

$CPASS_k$	Kosten infolge schweren Befahrbarkeit des Fahrzeugtyps k (in Währung pro 1000 km)
VC_{kav}	Durchschnittliche jährliche Fahrzeugbetriebs- und Reisekosten pro 1000 Fz-km des Fahrzeugtyps k
$FPLIM_k$	Nutzerbestimmter fahrzeugspezifischer dimensionsloser Maximalwert von $FPASS$ (Defaultwert = 1,0)
GH	Mittlerer Wert der Kiesdeckschicht für das Analysejahr (mm)
$GHMIN$	Minimaler Wert der Kiesdeckschicht

$$GHMIN = \text{MIN}(100, \text{MAX}(40, 2 \cdot D95)) \quad (\text{Gleichung 3-32})$$

Mit $D95$ = Maximale Korngröße (in mm)

Der Faktor $FPLIM$ ($1 \leq FPLIM \leq 3$) hat folgende Werte [42]:

$FPLIM$	= 1 für Untergrund mit $CBR \geq 10$ (d.h. voll befahrbar)
$FPLIM$	= 3 für schwere Kfz auf weichem Boden (<i>heavy vehicles on soft soils</i>)
$CPASS$ (= 0) für asphaltierte Straßen und GH (=0) für Erdstraßen.	

***Beispielberechnung für Laterit Kies:**

$$GHMIN = MIN(100, MAX(40, 2 \cdot D95)) = MIN[100, MAX(40, 2 \cdot 21,9)] = 43,8$$

Wenn der minimale Wert der Kiesdeckschicht $GHMIN$ größer als 43,8 mm ist, sind die Kosten infolge schwerer Befahrbarkeit $CPASS_k$ null. Aber wenn $GHMIN$ kleiner als 43,8 mm ist, werden die Kosten der Unbefahrbarkeit mit einem Faktor, der von den Fahrzeugeigenschaften, der verbleibenden Kiesdeckschicht und des Straßenuntergrundes abhängig ist, multipliziert (s. Abbildung 3-15).

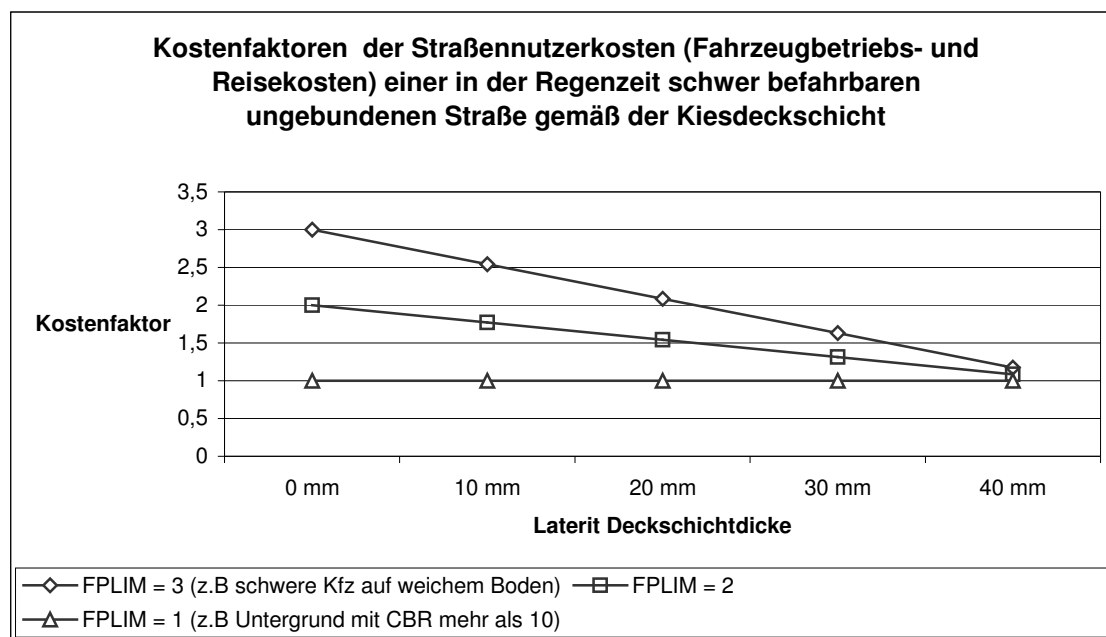


Abbildung 3-15: Kostenfaktoren der Straßennutzerkosten einer schwer befahrbaren ungebundenen Straße in Abhängigkeit von der Dicke der Kiesdeckschicht

3.4.8.3 Ökonomische Entscheidungskriterien

Die folgenden ökonomischen Indikatoren werden im HDM-4-Programm als Entscheidungskriterien berücksichtigt: der Nettogegenwartswert (*Net Present Value, NPV*), das Nutzenkostenverhältnis (*Benefit Cost Ratio, BCR*) und der Interne Zinsfuß (*Internal Rate of Return, IRR*).

3.4.8.3.1 Nettogegenwartswert (Net Present Value, NPV)

Der Nettogegenwartswert einer Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n wird wie folgt gerechnet:

$$NPV_{(m-n)} = \sum_{y=1}^Y \frac{NB_{y(m-n)}}{[1 + 0,01 \cdot r]^{(y-1)}} \quad (\text{Gleichung 3-33})$$

Mit:

$NB_{y(m-n)}$	Nutzen (Gewinn) der Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n im Jahr y
r	Diskontsatz - <i>Discount rate</i> (in %)
y	Analysejahr (y = 1,2,3,...,Y)

Je höher der Nettogegenwartswert (NPV) liegt, desto größer ist der Nutzen (Gewinn) der betrachteten Alternativmaßnahme im Vergleich zur Basisoption.

* Beispiel zum Nettogegenwartswert (NPV)

Ein Projekt (z.B. eine Investition in eine neue Produktionsanlage) führe zu einem Einkommensstrom $m = (m_1, m_2, \dots, m_T)$ und erfordere Zahlungen von $p = (p_1, p_2, \dots, p_T)$.

$$\text{Gegenwartswert des Einkommensstroms: } PV_m = \sum_{t=1}^T \frac{m_t}{[1 + 0,01 \cdot r]^{(t-1)}} \quad (\text{Gleichung 3-34})$$

$$\text{Gegenwartswert des Zahlungsstroms: } PV_p = \sum_{t=1}^T \frac{p_t}{[1 + 0,01 \cdot r]^{(t-1)}} \quad (\text{Gleichung 3-35})$$

$$\text{Nettogegenwartswert des Projekts: } NPV = PV_m - PV_p \quad (\text{Gleichung 3-36})$$

Man sollte das Projekt durchführen, wenn $NPV > 0$, und nicht durchführen, wenn $NPV < 0$ [1], [2].

3.4.8.3.2 Nutzenkostenverhältnis

Das Nutzenkostenverhältnis (*Benefit Cost Ratio, BCR*) für die Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n wird wie folgt berechnet:

$$BCR_{(m-n)} = \frac{NPV_{(m-n)}}{C_m} + 1 \quad (\text{Gleichung 3-37})$$

Mit:

$BCR_{(m-n)}$	Nutzenkostenverhältnis (<i>Benefit Cost Ratio, BCR</i>) für die Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n
$NPV_{(m-n)}$	Totaler Nettogegenwartswert (<i>Net Present Value, NPV</i>) für die Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n. Diese ist gleich dem NPV, wenn der Zinssatz gleich r ist.
C_m	Totale Aufwendungen des Baulasträgers für die Alternativmaßnahme m

Diese Verhältnisse zeigen die Rentabilität einer Alternativmaßnahme m im Vergleich zur Basisoption n mit einem gegebenen Zinssatz r.

Das Nutzenkostenverhältnis beschreibt nicht die Größe der Kosten oder den Nutzen einer Alternative, sondern es zeigt die Rentabilität dieser gegenüber der Basisoption.

3.4.8.3.3 Interner Zinsfuß (Internal Rate of Return, IRR)

Der Interne Zinsfuß (*Internal Rate of Return*, IRR) ist derjenige Zinssatz, bei dem der NPV gleich Null ist, d.h. der Nutzen und die Kosten einer Erhaltungsmaßnahme gleich sind.

$$\sum_{y=1}^Y \frac{NB_{y(m-n)}}{[1 + 0,01 \cdot r^0]^{(y-1)}} = 0 \quad (\text{Gleichung 3-38})$$

Diese Gleichung wird für r^0 gelöst, indem man den Nettogegenwartswert (*Net Present Value*, NPV) in 5-Prozent-Intervallen des Zinssatzes zwischen -95 und +900 Prozent auswertet; und die Nullstellen der Gleichung bestimmt (s. Abbildung 3-16). Dabei wird der gesuchte Zinssatz durch lineare Interpolation ermittelt. Abhängig vom Nutzen $NB_{y(m-n)}$ (Gewinn der Alternativmaßnahme m im Vergleich zu Basisoption n im Jahr y) ist es möglich, eine Lösung, mehrfache Lösungen oder überhaupt keine zu finden.

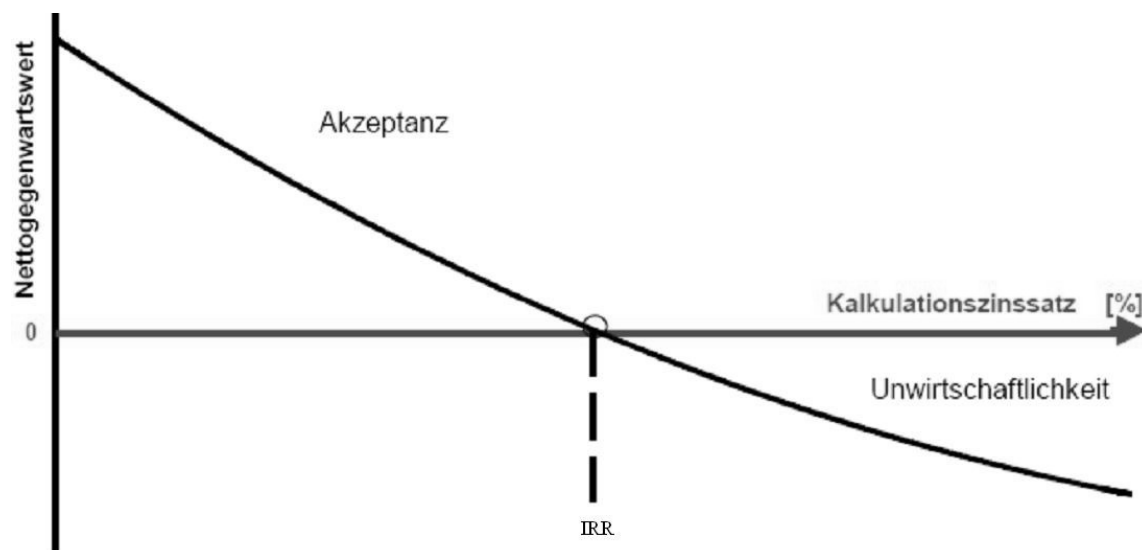


Abbildung 3-16: Quantitative Darstellung des internen Zinsfußes (Internal Rate of Return, IRR) [58]

Wie das Nutzenkostenverhältnis beschreibt der Interne Zinsfuß nicht die Größe der Kosten oder Nutzen einer Alternative, sondern er zeigt die Rentabilität dieser gegenüber der Basisoption an. Wenn der ausgerechnete IRR größer ist als der für die Aktualisierung angesetzte Zinssatz, dann ist die Alternative ökonomisch gerechtfertigt. Werden mehrere Erhaltungsstrategien miteinander verglichen, ist die mit dem höchsten IRR-Wert den anderen vorzuziehen.

* Beispiel zum Internen Zinsfuß:

Für ein Investitionsprojekt wurde folgende Zahlungsreihe geplant:

- Anschaffungsauszahlung: 5.000.000 €,
- Einzahlungsüberschüsse in den Perioden 1 bis 4: jeweils 2.000.000 €.

Die Barwertberechnung zu den Probierzinsen i_1 und i_2 ist in folgender Tabelle dargestellt

Tabelle 3-10: Barwertberechnung für die Ermittlung des internen Zinsfußes

t	Zahlungsreihe	Abzinsungsfaktor Bei 20 % p.a	Barwert Bei 20 % p.a	Abzinsungsfaktor Bei 22 % p.a	Barwert Bei 22 % p.a
0	-5.000.000 €	1,000000	-5.000.000 €	1,000000	-5.000.000 €
1	+2.000.000 €	0,833333	+1.666.667 €	0,819672	+1.639.344 €
2	+2.000.000 €	0,694444	+1.388.889 €	0,671862	+1.343.725 €
3	+2.000.000 €	0,578704	+1.157.407 €	0,550707	+1.101.414 €
4	+2.000.000 €	0,482253	+964.506 €	0,451399	+902.798 €
			+177.469 €		-12.719 €

Als Näherungslösung erhält man:

$$r = i_1 - C_{0,1} \cdot \frac{i_2 - i_1}{C_{0,2} - C_{0,1}} = 0,2 - 177.469 \cdot \frac{0,22 - 0,2}{-12.719 - 177.469} = 21,87 \%$$

Der interne Zinsfuß beträgt also ungefähr 21,87 %.

Bei der Beurteilung einer Investition mit Interner Zinsfußmethode ist der Kalkulationszins der Vergleichsmaßstab, er ist der Mindestzinsfuß, der erzielt werden soll. Ist der interne Zinsfuß größer als der Kalkulationszins, d.h. der gewünschte Mindestzinsfuß, so ist die Investition vorteilhaft [70].

Der Nettogegenwartswert ist das Entscheidungskriterium für langfristige Projekte, das Nutzenkostenverhältnis für mittelfristige Projekte und der Interne Zinsfuß das Entscheidungskriterium für kurzfristige Projekte [57].

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Nettogegenwartswert als das Entscheidungskriterium genutzt, weil die Analyseperiode 20 Jahre ist.

3.4.8.4 Diskontsatz („discount rate“)

Der Diskontsatz ist ein von der Zentralbank definierter Zinssatz. Der Diskontsatz hat eine Leitfunktion für die übrigen Sollzinsen, der die Transportkosten jeden Jahres einer Analyseperiode auf ihren Wert im ersten Analysejahr (Projektbeginn) umrechnet. Dieses wird durchgeführt, um den Geldzeitwert („time value of money“) der in einem Straßenprojekt investierten Kapitalkosten zu reflektieren.

Der Diskontierungsfaktor D.F ist abhängig vom Diskontsatz r und von der Anzahl der Jahre seit dem Projektbeginn N :

$$D.F = \left(1 + \frac{r}{100}\right)^{-N} \quad (\text{Gleichung 3-39})$$

Mit:

D.F	Diskontierungsfaktor
r	Diskontsatz in Prozent (%)
N	Anzahl der Jahre seit dem Projektbeginn

Die folgende Tabelle illustriert das Prinzip des Diskontierens der Transportkosten einer Kiesstraße, die nach einem Jahr asphaltiert wird. Die Analyseperiode ist 10 Jahre. Der Diskontsatz beträgt 12%.

Tabelle 3-11: Beispiel des Diskontieren der Transportkosten einer Straße

Jahr	Diskontierungs- faktor	Baukosten [Mio. US \$]	Jährliche Unterhaltungskosten [Mio. US \$]	Fahrzeugbetriebs- kosten [Mio. US \$]	Totale Baulastträger- und Straßennutzerkosten [Mio. US \$]	Diskontierte totale Baulastträger- und Straßennutzerkosten [Mio. US \$]
0 (Basis)	1,0000		0,8	1,5	2,3	2,3
1	0,8929	5,8	0,4	1,0	7,2	6,4
2	0,7972		0,5	1,1	1,6	1,3
3	0,7118		0,6	1,3	1,9	1,4
4	0,6355		0,7	1,4	2,1	1,3
5	0,5674		0,7	1,6	2,3	1,3
6	0,5066		0,8	1,8	2,6	1,3
7	0,4523		0,9	2,0	2,9	1,3
8	0,4039		0,9	2,2	3,1	1,3
9	0,3606		1,0	2,3	3,3	1,2
10	0,3220		1,0	2,5	3,5	1,1
SUMME					32,8	20,2

4 Anwendung von HDM-4 für die Erhaltung und den Ausbau am Beispiel der Fernstraße Douala-Yaounde

4.1 Einleitung

Die beiden bedeutsamsten Städte Kameruns Douala und Yaounde, die 40 % der Stadtbevölkerung auf sich vereinigen, haben unterschiedliche Schwerpunkte – Douala bildet die wirtschaftliche Metropole und wichtigste Hafenstadt, die politische Hauptstadt Yaounde liegt im Zentrum einer stark bevölkerten Region. Die zwei Städte sind die Hauptzentren für Regierung, Handel und Ausbildung. Ihre strategische Lage im infrastrukturellen Koordinatensystem des Landes gibt ihnen einen großen Einfluss in Wirtschaft, Politik und Verwaltung und lässt sie zu Anziehungspunkten für die Bevölkerung aus allen Teilen des Landes werden.

Douala ist Wirtschaftsmetropole, Finanz-, Industrie und Handelszentrum Kameruns und mit schätzungsweise knapp 1,3 Mio. Einwohnern (1998) die weitaus größte Stadt des Landes. Obwohl 1927 das Verwaltungszentrum Yaounde Hauptstadt wurde, verlor Douala dadurch nicht an Bedeutung.

Die zweitgrößte Stadt ist gleichzeitig die Landeshauptstadt Kameruns mit dem Verwaltungs- und Regierungssitz. Hier kreuzen sich alle wichtigen Verkehrs- und Geschäftsverbindungen.

Die Fernstrasse zwischen Douala und Yaounde (Länge 255 km und Breite 7 m) wurde 1985 eröffnet.

Angesichts der Bedeutung der beiden Städte und der Unfallzahlen auf dieser Fernstraße wird in Kamerun gefragt, warum eine Autobahn nicht auf dieser Strecke gebaut werden kann oder zumindest die existierende Fernstraße nicht ausgebaut wird.

In diesem Kapitel wird die Fernstraße zwischen den wichtigen Ballungszentren Douala und Yaounde mit Hilfe des HDM-4-Programms untersucht und bewertet. Das Ziel liegt in der Prioritätenbestimmung alternativer Erhaltungs- und Ausbaustrategien auf die bedeutsame Verbindung zwischen den beiden Städten.

4.2 Eingabedaten

Bevor man einzelne Erhaltungsstrategien untersuchen und miteinander vergleichen kann, müssen zuerst umfangreiche Eingabedaten unter Berücksichtigung der länderspezifischen Erfahrungen und Zusammenhänge beschafft und editiert werden. Diese Daten werden in folgende vier Hauptgruppen untergliedert:

- Straßennetz (*Road Networks*)
- Fahrzeugflotte (*Vehicle Fleets*)
- Konfiguration (*Configuration*) → Klimabedingungen (*Climate Zones*)
- Erhaltungsmethoden (*Work standards*)

4.2.1 Straßennetz

4.2.1.1 Allgemeine Angaben

Unter dem Menüpunkt Straßennetz (*Road Networks*) sind die in der Analyse betrachteten Straßenabschnitte mit ihren primären Eigenschaften aufgeführt. Bei der Editierung eines Straßenabschnittes gelangt man zu einer vierteiligen Eingabemaske. In der Abbildung 4-1 wird der Abschnitt Douala – Yaounde festgehalten.

Im ersten Bereich (*Definition*) werden hauptsächlich die allgemeinen Daten festgelegt. In den ersten vier Zeilen wird dem Abschnitt ein Name und ein Code zugewiesen, damit er immer eindeutig erkennbar bleibt.

Mit Hilfe eines *Dropdown-Menüs* wird eine zweistreifige Standardstraße (*two Lane Standard*) für Douala – Yaounde der Kategorie Haupt- oder Fernstraße (*Primary or Trunk*) mit dem fließenden Verkehrsmuster (*Free-Flow*) und die Klimazone (*Climate zone*) Douala ausgewählt. Der Straßenoberbau besteht aus einer Schottertragschicht und einer Asphalttragschicht mit Asphaltdecke. Die Fahrbahnbreite (*Carriageway width*) beträgt 7 m und der Straßenabschnitt hat zwei Fahrstreifen (*Number of Lanes*) ohne Standstreifen (*Shoulder*).

Section Name:	Douala - Yaounde 1	Length:	255	km
Section ID:	001	Carriageway width:	7	m
Link Name:	Douala - Yaounde	Shoulder width:	0	m
Link ID:	N3	Number of Lanes:	2	
Speed flow type:	Two Lane Standard			
Traffic flow pattern:	Free-Flow			
Climate zone:	Douala			
Road class:	Primary or Trunk			
Surface class:	Bituminous			
Pavement Type:	Asphalt Mix on Asphalt Base			
		Traffic		
		Motorised:	3796	AADT
		NMT:	0	AADT
		Year:	2003	
		Flow direction:	Two-way	

Abbildung 4-1: Definition des Straßenabschnittes Douala – Yaounde

Die durchschnittliche tägliche Straßenbelastung durch den motorisierten Verkehr (*Motorised / AADT*), die im Jahr 2003 erhoben wurde, beträgt im Querschnitt 3796

Kfz/24h nach Angabe des Bauministeriums. Der betrachtete Straßenabschnitt hat eine Länge von 255 km und wird in zwei Richtungen betrieben.

Tabelle 4-1 zeigt die Daten zur Geometrie des Streckenabschnittes. Die Angaben über Steigung oder Gefälle (*Rise + Fall*) sowie über die durchschnittliche horizontale Kurvigkeit (*Avg horiz curvature*) des Streckenabschnittes sind nach Angaben der Straßenbehörde Kameruns auf 75 m/km und auf 15 deg/km gesetzt. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit (*Speed limit*) beträgt 110 km/h. Die Höhenlage (*Altitude*) des Abschnittes bezogen auf NN ist durchschnittlich auf 13 m festgelegt und eine Oberflächenentwässerung ist in diesem Bereich vorhanden.

Tabelle 4-1: Geometrie des Straßenabschnittes Douala – Yaounde

Steigerung + Gefälle [m/km]	15
Durchschnittliche horizontale Kurvigkeit [deg/km]	75
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	110
Höhenlage [m]	13
Art der Entwässerung	Oberflächenentwässerung

Die Beschreibung des gebundenen Straßenoberbaus ist in der Tabelle 4-2 zu sehen. Der Asphaltbeton wird als Materialtyp der Decke (*Surfacing*) gewählt und die Mächtigkeit angegeben. Die Asphaltdeckschicht hat eine Dicke von 73 mm.

Tabelle 4-2: Gebundener Oberbau des Straßenabschnittes Douala – Yaounde

Fahrbahnoberfläche	Jahr	Asphalt Dicke
Ältere Deckschicht	1985	60 mm
Deckschichterneuerung	1999	60 mm
Erneuerung im Hocheinbau	2001	73 mm
Oberflächenbehandlung	2003	73 mm
Aktuelle Deckschicht	Seit 2003	73 mm

Der Gegenstand des Projekts Rehabilitation Douala – Yaounde ist eine im Jahre 1985 gebaute Fernstraße. Die Stärke der vorherigen bzw. älteren Decke (*Previous /old Surfacing thickness*) war 60 mm. Die vollständige Rekonstruktion (*reconstruction*) wurde bis zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht durchgeführt; aber die Deckschichterneuerung (*Resurfacing*) wurde 1999 und die Erneuerung im Hocheinbau (*overlay*) 2001 gemacht. Schließlich wurde 2003 eine Oberflächenbehandlung (*preventive treatment*) durchgeführt (s. Tabelle 4-2).

4.2.1.2 Tragfähigkeit des Straßenabschnittes Douala - Yaounde

Als Kennwert für die Beschreibung der Tragfähigkeit des gesamten Straßenaufbaues dient der sogenannte SNP-Wert (*Structural Number of Pavement*). Die Berechnung erfolgt durch den *SNP Calculator Wizard*. Im ersten Schritt wird die Methode zur Bestimmung der zur Berechnung erforderlichen Werte festgelegt. Diese wird mit Hilfe von Deflexionen, die im Jahr 2003 mit dem Benkelman Balken ermittelt wurden (DEF

= 0,57 mm), berechnet. Hieraus ergibt sich ein SNP für die betrachtete Strecke von 4,56 (s. Abbildung 4-2).

Step 1: Select the method to calculate the pavement SNP:

- ☐ Falling Weight Deflections
- ☒ Benkelman Beam
- ☐ Layer coefficients and thicknesses

Step 2: Define required parameters to calculate SNP using Benkelman Beam deflection data:

Deflection defined for: ☒ Dry Season ☐ Wet Season

Benkelman Beam reading: Deflection: mm

Step 3: Calculate SNP using Benkelman Beam data:

Calculated model parameters: SNP: DEF: mm

Abbildung 4-2: Bestimmung des SNP-Wertes für den Oberbau des Abschnittes Douala-Yaounde durch den SNP Calculator Wizard

4.2.1.3 Zustand des Straßenabschnittes

In der Abbildung 4-3 sind die Daten der Straßenzustandserfassung des Streckenabschnittes zusammengefasst. Die jeweiligen Werte werden in die Tabellenspalte für das Jahr 2003, in dem die Zustandserfassung stattgefunden hat, eingetragen [37], [38]. Der Roughness Index IRI ergab sich aus der Zustandserfassung zu einem Wert von 4,0 [m/km], was entsprechend der Straßenkategorie (s. Abbildung 4-3) ein angemessener Wert ist. Zusätzlich zeigten sich Risse an 5%, Ausmagerungen an 10% der Fläche, 20 Schlaglöcher pro km, 10 m²/km Kantenabbrüche, 5 mm mittlere Spurrinnentiefe, 0,5 mm Texturtiefe und ein Griffigkeitswert von 0,4 [SRIM 50km/h]. Außerdem wird die Funktionalität der Oberflächenentwässerung (*Drainage*) mit angemessen (*fair*) bewertet.

Condition at end of year	2003
Roughness (IRI - m/km)	4.00
Total area of cracking (%)	5.00
Ravelled area (%)	10.00
Number of Potholes (No./km)	20.00
Edge break area (m ² /km)	10.00
Mean rut depth (mm)	5.00
Texture depth (mm)	0.50
Skid resistance (SCRIM 50km/h)	0.40
Drainage	Fair ▼

Abbildung 4-3: Straßenzustandserfassung (Douala-Yaounde) [50]

Aus den Daten der Zustandserfassung 2003 können ebenfalls die weiterhin benötigten Zustandswerte für den Abschnitt Douala – Yaounde entnommen werden.

Von den aufgeführten Straßenzustandsmerkmalen wird von dem Programm HDM-4 die Längsunebenheit (ausgedrückt durch den *International Roughness Index*, IRI) als dominierendes Merkmal bewertet.

4.2.2 Fahrzeugflotte

Bevor das HDM-4-Programm die Fahrzeugbetriebskosten in Abhängigkeit von der Linienführung und dem Straßenzustand berechnen kann, muss eine repräsentative Fahrzeugflotte (*Vehicle Fleet*) mit den entsprechenden kostenrelevanten fahrtechnischen Daten definiert werden. Diese werden aus statistischen Erhebungen gewonnen. Entsprechend der Eingabe der Strukturdaten erfolgt die Definition der Fahrzeugflotte.

Tabelle 4-3: Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und des Verkehrsaufkommens auf der Straßenverbindung Douala-Yaounde

Projektname: Rehabilitation Douala Yaounde		
Verkehrsbelastung: 3796 Kfz/24h (2003)	Jahr der Verkehrserhebung: 2003	
Fahrzeugtyp	Anteil an der gesamten Verkehrsbelastung (%)	jährliche Zuwachsrate (%)
Gegliedelter LKW (<i>Articulated Truck</i>)	10	2,5
Bus	4	2,5
Schwerer LKW (<i>Heavy Truck</i>)	4	2,5
Mittlerer LKW (<i>Medium Truck</i>)	7	2,5
PKW (<i>Medium Car</i>)	37	2,5
Minibus	19	2,5
Pick up	18	2,5
Holztransporter (<i>Timber Lorry</i>)	1	2,5

Unter dem Namen *Cameroonian Vehicles* bestehen diese Fahrzeuge, nach Angabe des Verkehrsministeriums in Kamerun, aus acht Fahrzeugtypen (s. Tabelle 4-3).

Für jeden Fahrzeugtyp können die grundlegenden Fahrzeugeigenschaften (*Basic Characteristics*) sowie Einheitskosten (*Economic Unit Costs*) aufgerufen werden.

Die Tabelle 4-4 gibt eine Übersicht über die wesentlichen Fahrzeugeigenschaften der Fahrzeugtypen der kamerunischen Fahrzeugflotte.

Tabelle 4-4: Fahrzeugtechnische Daten

	Anzahl		Gewicht [t]	ESALFk	jährlich gefahrte km	jährliche Fahrstunden
	Achsen	Räder				
Gegliedert LKW	5	18	28	4,63	75000	1500
Bus	3	10	10	0,8	70000	1200
Schwerer LKW	3	10	13	2,28	70000	1200
Mittlerer LKW	2	6	7,5	1,25	60000	1000
PKW	2	4	1,2	0,01	24000	400
Minibus	2	4	1,5	0,01	60000	1000
Pick up	2	4	1,5	0,01	30000	500
Holztransporter	3	10	13	2,28	60000	1500

Mit *ESALFk* : Äquivalenter Standardachsenfaktor des Fahrzeugtyps k (in äquivalenten Standardachsen von 8,16 Tonnen).

Die Fahrzeugbetriebskosten werden aus Angaben des Verkehrsministeriums übernommen (s. Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5: Fahrzeugbetriebskosten [50]

	Fahrzeugskosten [US \$/Fz]	Reifenkosten [US \$/Reifen]	Treibstoffkosten [US \$ / l]	Schmierstoffkosten [US \$ / l]	Wartungskosten [US \$ / h]	Lohnkosten [US \$ / h]
Gegliedert LKW	154816	580	0,95	3,4	10,5	4,4
Bus	230000	690	0,95	3,4	10,5	4,4
LKW	129400	590	0,95	3,4	10,5	4,4
Mittlerer LKW	84140	500	0,95	3,4	10,5	4,4
PKW	24168	90	1,05	3,4	10,5	2
Minibus	33060	93	0,95	3,4	10,5	2,6
Pick up	31300	170	0,95	3,4	10,5	2,2
Holztransporter	129400	590	0,95	3,4	10,5	4,4

4.2.3 Klimadaten

Neben der Verkehrsbelastung und der gewählten Aufbauart ist das Klima der Region ein weiterer Faktor, der einen entscheidenden Einfluss auf den Zustandsverlauf einer Straße hat. Das HDM-4-Programm berücksichtigt solche Klimadaten wie Temperatur und Niederschlagsmenge, um dem Programmnutzer möglichst realitätsnahe Berechnungsergebnisse liefern zu können.

Die vorliegende Programmversion 1.3 bietet im Eingabeblock *Configuration* unter dem Menüpunkt *Climate Zones* zur Auswahl zehn bereits vordefinierte Klimazonen.

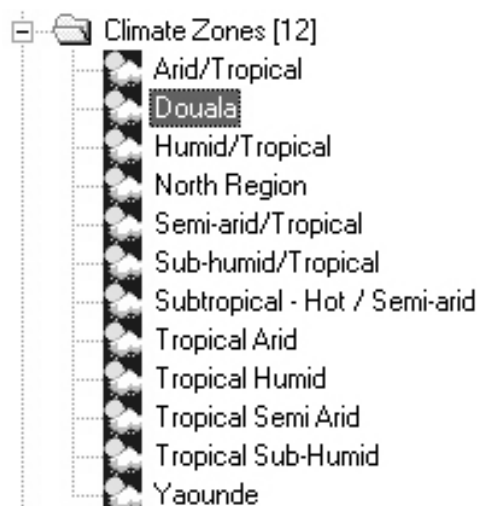


Abbildung 4-4: Vordefinierte und definierte Klimazonen

Allerdings konnten die Eingabewerte keiner Zone den untersuchten Regionen Douala und Yaounde eindeutig zugewiesen werden. Aus diesem Grund mussten im Programm für Douala und Yaounde zwei neue Klimazonen festgelegt werden.

Die Recherche der notwendigen Klimadaten beider Regionen erfolgte in Zusammenarbeit mit den provinziellen Diensten der Meteorologie in Douala und Yaounde unter Einbeziehung der Literaturquelle [13], [65]. Um brauchbare Werte zu erhalten, musste dabei eine Beobachtungsperiode von 30 Jahren (1961 – 1990) berücksichtigt werden. Anschließend wurden diese Daten in den zugehörigen Eingabemasken editiert.

Den in der Tabelle 4-6 gezeigten Klimazonen Douala und Yaounde liegen klimatologische Werte der meteorologischen Station Douala zugrunde. Die Eingabe der Klimadaten beginnt mit der Wahl einer Feuchtigkeitsklasse (Moisture Classification), welche mit Kenntnis der jährlichen Niederschlagsmenge bestimmt werden kann. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt für Douala 4004 mm und für Yaounde 1456 mm, was folglich dem Bereich der Feuchtigkeitsklasse Per-humid für Douala und Sub-Humid für Yaounde entspricht (s. Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Angaben für Klimabedingungen in Douala und in Yaounde

Klimazone	Douala	Yaounde
Feuchtigkeitsklasse	Per-humid	Sub-Humid
Feuchtigkeitsindex	100	60
Dauer der Trockenzeit	6 Monate	6 Monate
Durchschnittliche monatliche Niederschlag	334 mm	121 mm
Temperaturklasse	Tropical	Tropical
Jahrdurchschnittliche Temperatur	26,2 °C	23,5 °C
Maximale Temperaturdifferenz	5°C	15 °C
Anzahl der Tage mit Temperatur > 32 °C	90	30
Anzahl der Tage, an denen die Straßen mit Wasser bedeckt	20	15

Sowohl für Douala als auch für Yaounde ist die Dauer der Trockenzeit (*Duration of the dry season*) als Anteil des ganzen Jahres auf 0,5 gesetzt.

Tabelle 4-7: Vordefinierte Feuchtigkeitsklassen [45]

Feuchtigkeitsklasse	Bereich des Feuchtigkeitsindex	Jährliche Niederschlagsmenge [mm]
Arid (trocken)	-100 bis -61	< 300
Semi-arid	-60 bis -21	300 bis 800
Sub-humid	-20 bis +19	800 bis 1600
Humid (feucht)	+20 bis +100	1500 bis 3000
Per-humid	> 100	> 2400

Tabelle 4-8: Vordefinierte Temperaturklassen [45]

Temperatur-Klasse	<i>Tropical</i>	<i>Sub-tropical Hot</i>	<i>Sub-tropical cool</i>	<i>Temperate cool</i>	<i>Temperate Freeze</i>
Temperatur-Bereich [°C]	20 bis 35	-5 bis 45	-10 bis 30	-20 bis 25	-40 bis 20

Anhand der in Tabelle 4-8 vorgegebenen Temperaturbereiche lässt sich für die jeweilige Region die Temperaturklasse (*Temperature Classification*) bestimmen. Dabei reicht die Auswahl von Tropisch (*Tropical*) bis hin zur gemäßigten Frostzone (*Temperate-freeze*). Somit liegen die in Douala als auch in Yaounde gemessenen Lufttemperaturen annähernd im Bereich der Temperaturklasse Tropical. Der Frostindex (*Freeze Index*) ist sowohl in Douala als auch in Yaounde null, da die Umgebungstemperatur in beiden Regionen nie unter 0° C ist.

Am Ende der Eingabemaske mit den Klimadaten werden die Angaben zur Anzahl der Tage gemacht, an denen die Straßenabschnitte entweder mit Schnee (*on snow covered roads*), nie in beiden Regionen; oder z.B. durch einen Sturzregen mit Wasser bedeckt sind (*on water covered roads*), bis dieses Regenwasser von den Entwässerungsanlagen vollständig aufgenommen wird (15 bis 20 Tage).

Die beiden Städte befinden sich in der Äquatorial-Klima-Region. Da die Temperaturklasse von Douala und Yaounde gleich ist (*Tropical*), aber der Regen in Douala stärker ist, wird im Rahmen dieser Untersuchung die ungünstigere Klimazone Douala angenommen.

Die Wirkung des Klimas z.B. auf die Berechnung der Längsunebenheitsklimakoeffizienten ist in der Abbildung 4-5 zu sehen. Das Bild zeigt, welchen Einfluss die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf die Berechnung der Längsunebenheit haben. Hier zeigt sich vor allem der große Einfluss tiefer Temperaturen.

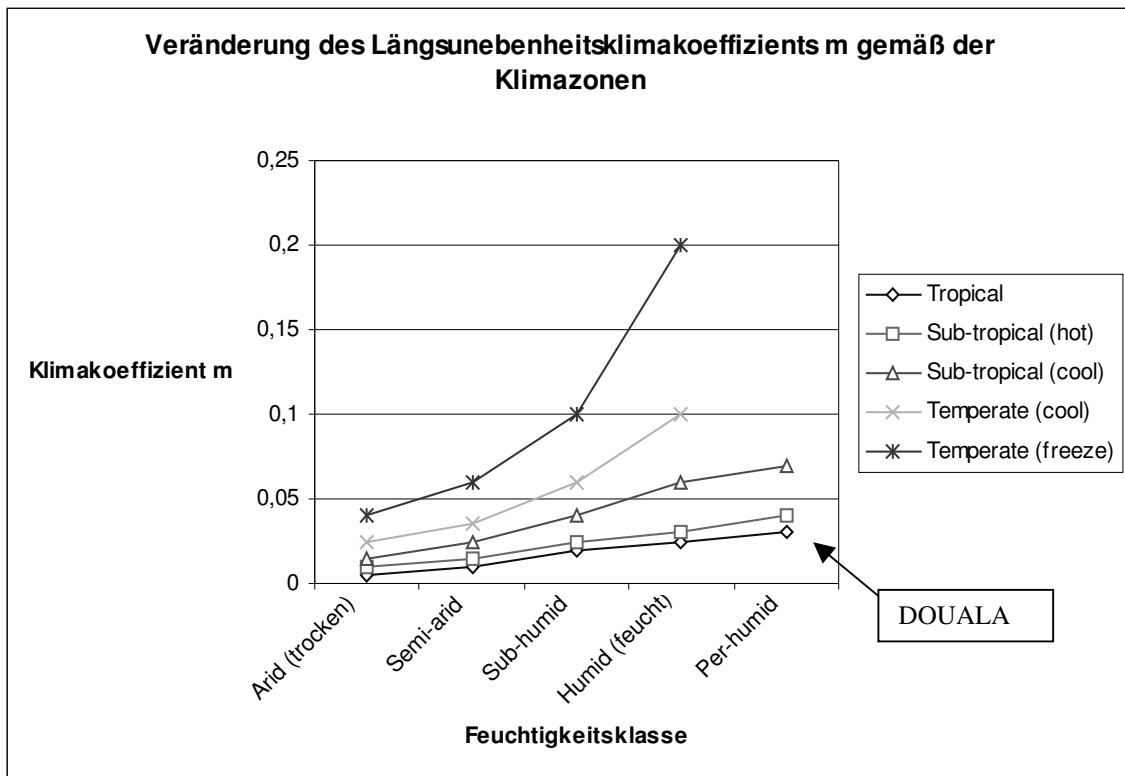


Abbildung 4-5: Veränderung des Längsunebenheitsklimakoeffizienten gemäß der Klimazonen

4.3 Berücksichtigung lokaler Baustoffe

Bodenmechanische Untersuchungen zum Zweck der Senkung der Baukosten wurden in Kamerun durchgeführt. Damit hat man die Möglichkeit, die Wartungs- und Verbesserungsarbeiten des HDM-4-Programms nach lokalen Bedingungen zu erweitern.

4.3.1 Gewinnung eines verbesserten Materials durch die Mischung der Böden toniger Sand und Puzzolan

Die folgenden Versuchsergebnisse wurden durch Laboruntersuchungen im Laboratorium „Ketch“ in Douala erlangt.

a) Herkunft der Bodenproben

Die Herkunft der untersuchten Bodenproben (Limbé, Douala und Nkongsamba) ist aus der Landkarte von Kamerun (s. Abbildung 4-6) zu ersehen (s. auch Abb. 2-5: Große geologische Zonen Kameruns).

b) Toniger Sand (reichliches Material in der Küstenregion Kameruns)

Die tonigen Sande sind in den Kilometer - Punkten (PK) 4.000 und 4.500 auf der Fernstraße Bekoko (Douala) - Limbé entnommen worden.

c) Puzzolan

Puzzolane sind kieselsäurehaltige oder kieselsäure- und tonerdehaltige Stoffe meist vulkanischen Ursprungs. Der Name kommt von Pozzuoli, einer Stadt am Vesuv (Italien). In Deutschland zählt Trass (natürlicher, puzzolanischer Stoff vulkanischen Ursprungs, der als Bestandteil von Zement oder als Betonzusatzstoff dient) zu den natürlichen Puzzolanen [64]. In Gegenwart von Wasser reagieren Puzzolane hydraulisch und bilden wasserunlösliche Verbindungen.

In Kamerun sind Puzzolane hauptsächlich in Südwesten des Landes (Nähe des Kamerunbergs) zu finden.

Die Studie behandelt zwei Puzzolane:

- Das Puzzolan, das in Djoungo am Kilometer – Punkt 72 auf der Fernstraße Douala-Nkongsamba (s. Abbildung 4-6) entnommen wird
- Das Puzzolan entnommen hinter dem Stadion von Limbé in Südwesten des Landes

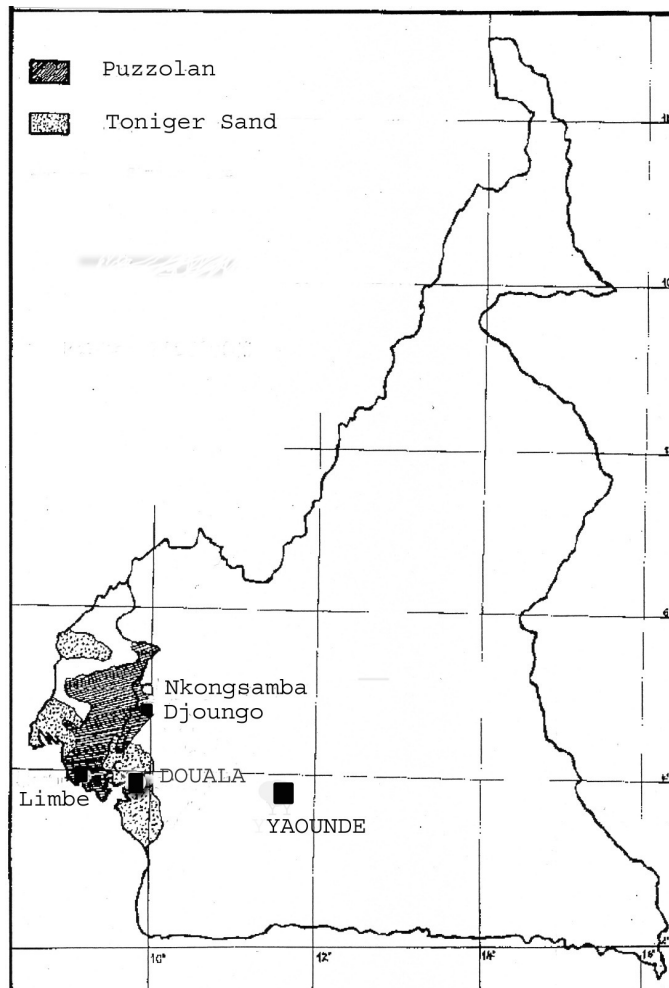


Abbildung 4-6: Herkunft der Bodenprobe

Es wird überprüft bis welcher Entfernung der Entnahmenstelle das untersuchte Material als Straßenbaustoff wirtschaftlich anwendbar wird.

In der Tabelle 4-9 sind die geotechnischen Eigenschaften der untersuchten Bodenproben zu sehen (siehe auch Daten der Korngrößenverteilung in der Anlage A2).

Tabelle 4-9: Geotechnische Eigenschaften der Bodenprobe toniger Sand und Puzzolan

Boden		Toniger Sand PK 4.000	Toniger Sand PK 4.500	Puzzolan von Djoungo	Puzzolan von Limbé
natürlicher Wassergehalt w [%]		10,80	12,20	13,50	14,40
Atterberg Grenze [%]	w_L	71,00	67,00	-	-
	w_P	39,50	34,30	-	-
	I_P	31,50	32,70	-	-
Proctor-versuch	W_{opt} [%]	9,50	11,00	14,30	13,80
	ρ_{pr} [t/m ³]	2,03	1,95	1,53	1,86
95% CBR + 4 Tage im Wasser	[-]	12,50	10,00	55,0	65,0
ρ_s	[t/m ³]	2,56	2,58	2,17	2,23

d) Mischung toniger Sand + Puzzolan

Die Eigenschaften der Gemische, die in dieser Studie verwendet werden, sind vom Gewichtsverhältnis ihrer Komponenten abhängig. Folgende Notationen werden angewendet: P1/P2, P1 = Prozentsatz von Puzzolan, P2 = Prozentsatz von tonigem Sand. Zum Beispiel das Gemisch 10% von Puzzolan + 90% toniger Sand wird als 10/90 notiert.

4.3.2 Untersuchungsergebnisse

Eine Studie im Labor hat die geotechnischen Resultate ergeben, hinterlegt hier in der folgenden Tabelle (für die Korngrößenverteilung s. Anlage A2).

Tabelle 4-10: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Gemisch	10/90		30/70		40/60	50/50		70/30		90/10		
	G1	G2	G1	G2	G1	G1	G2	G1	G2	G1	G2	
Atterberg Grenze [%]	w_L	60,0	63,0	57,0	61,0	57,0	45,0	49,0	34,5	41,0	17,5	31,5
	w_P	32,4	32,8	30,6	33,1	32,9	26,7	27,1	21,0	24,0	9,0	18,3
	I_P	27,6	30,2	26,4	27,9	24,1	18,3	21,9	13,5	17,0	8,5	13,2
Proctorversuch	W_{opt} [%]	8,3	10,0	10,0	10,0	10,2	9,5	12,2	10,5	12,2	11,2	12,7
	ρ_{pr} [t/m ³]	1,995	1,935	1,960	1,900	1,900	1,925	1,910	1,875	1,850	1,760	1,760
95% CBR + 4 Tage im Wasser		18,0	11,5	24,5	28,0	31,5	34,0	42,5	45,0	52,0	49,0	60,0
	ρ_s [t/m ³]	2,516	2,421	2,405	2,409	2,406	2,344	2,477	2,330	2,300	2,135	2,282

Mit:

G1: Gemisch 1	Puzzolan von Djoungo + toniger Sand PK 4.000
G2: Gemisch 2	Puzzolan von Limbé + toniger Sand PK 4.500
w_L	Fließgrenze
w_P	Ausrollgrenze
I_P	Plastizitätszahl
w_{opt}	optimaler Wassergehalt
ρ_{pr}	Proctordichte
CBR	California Bearing Ratio
ρ_s	Korndichte

4.3.3 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

a) Korngrößenverteilung

Die tonigen Sande haben die Kornverteilungsklasse 0/5 ($0 < \text{Korngrößen} \leq 5\text{mm}$), und die Puzzolane von Djoungo und Limbé die Kornverteilungsklassen 0/16 und 0/31,5. Die tonigen Sande haben mehr als 90% von Elementen der Korngrößen zwischen 0 und 2 mm. Die anderen Korngrößenklassen sind in schwacher Proportion vertreten. Hinsichtlich der Puzzolane sind die Korngrößen der Klasse 0/2 weniger als 35%. Die Korngrößenverteilung der Mischungen 10/90 enthalten zu viele Elemente zwischen 0 und 2 mm (mehr als 80%). Die Körnungslinien sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8) zu sehen.

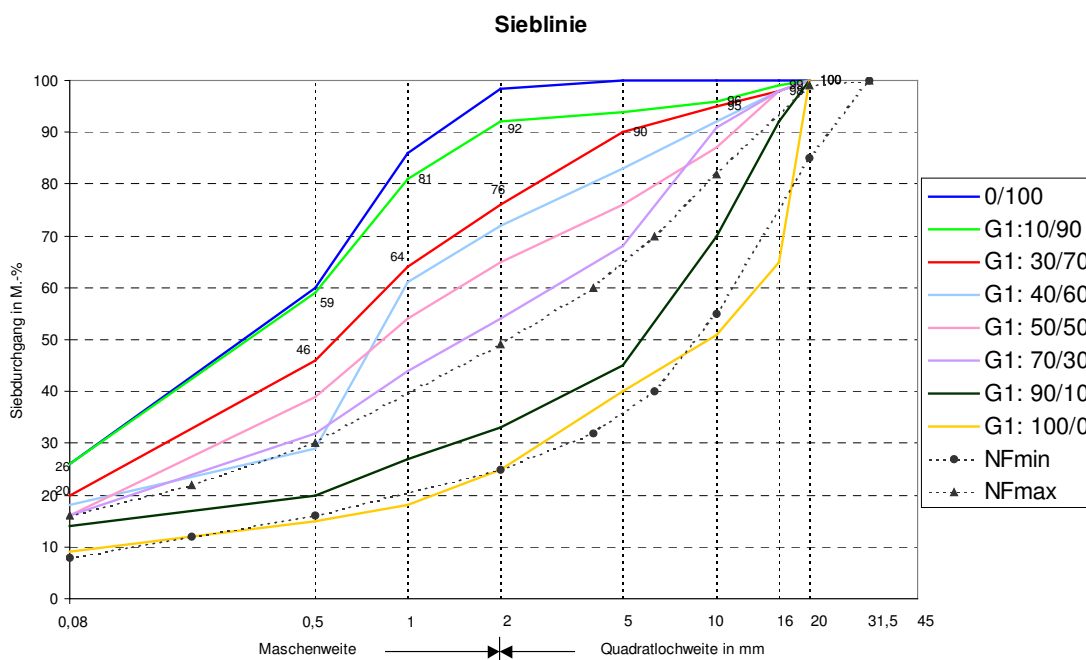


Abbildung 4-7: Körnungslinie der Mischung Pouzzolan von Djoungo + Toniger Sand PK 4.000 (Gemisch 1)

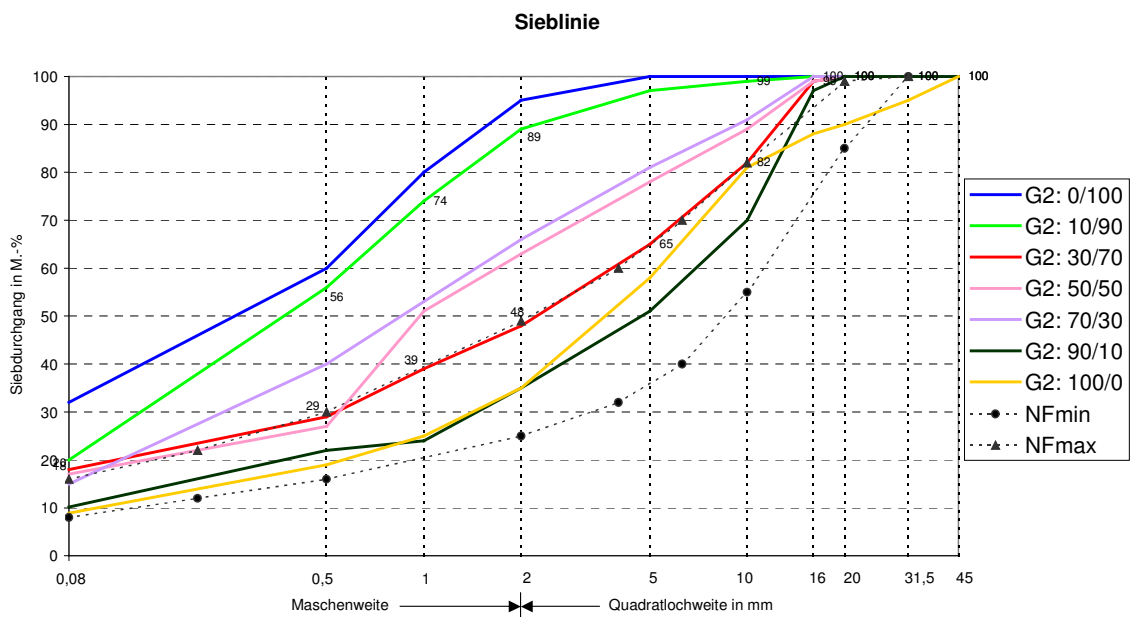


Abbildung 4-8: Körnungslinie der Mischung Pouzzolan von Limbe + Toniger Sand PK 4.500 (Gemisch 2)

* Bemerkung: NF bedeutet Sieblinien nach französischer Norm NF P98 129

b) Daten der Bodenverdichtung

Das Puzzolan ist ein Material mit hoher Porenzahl und nicht messbarer Plastizität (s. Tabelle 4-10). Es ist gegenüber Wasser fast unempfindlich, seine Proctorkurve ist beinahe eben, was bedeutet, dass eine Variation des Wassergehaltes keinen großen Einfluss auf die Proctordichte hat. Im Gegenteil präsentiert sich der tonige Sand durch seine Dichte und seine Sensibilität gegenüber Wasser und einer spitzen Proctorkurve. Die Proctorkurven der verschiedenen Mischungen neigen dazu, sich der Kurve vom Puzzolan zu nähern, wenn dessen Prozentsatz am Gemisch zunimmt. Bis auf einige Ausnahmen (die Werte des Gemisches 50/50) ändern sich optimaler Wassergehalt und Proctordichte in gegensätzliche Richtungen (s. Tabelle 4-10).

c) CBR-Werte

Die CBR-Werte der tonigen Sande sind schwach. Eine Erhöhung dieser Werte ergibt sich bei steigendem Puzzolananteil (s. Abbildung 4-9).

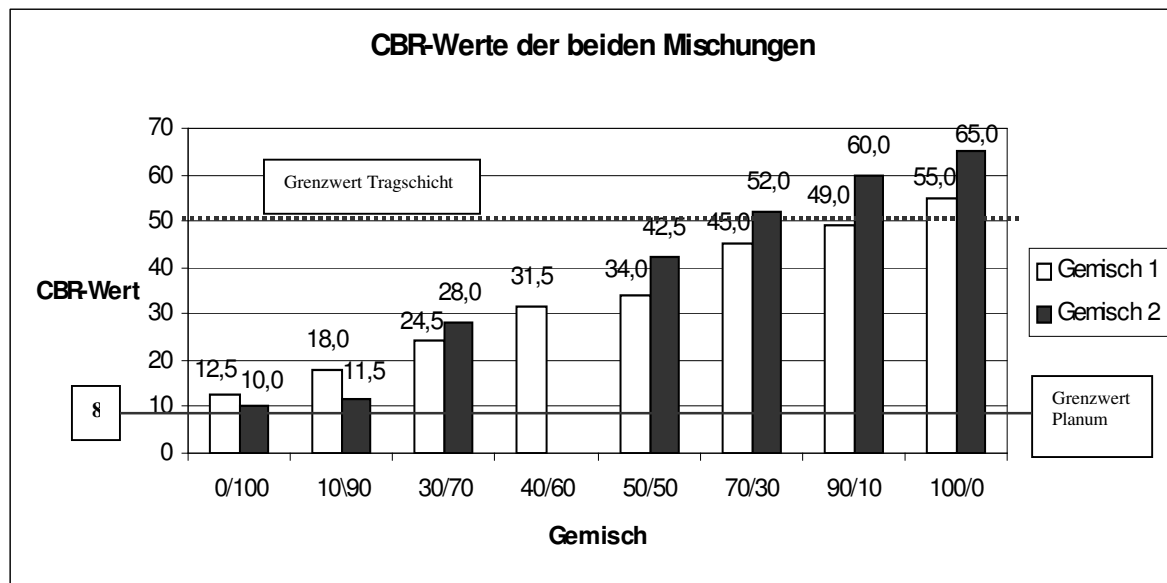


Abbildung 4-9: CBR-Wert: Gemisch 1: Puzzolan von Djoungo + toniger Sand PK 4.000 und Gemisch 2: (Puzzolan von Limbe + toniger Sand PK 4.500)

4.3.4 Eignung der verbesserten Böden als Straßenbaustoffe

Die Anforderungen für die ungebundenen Tragschichten bzw. das Planum sind abhängig von der Bodenart mit dem Ziel festgelegt, die für die jeweilige Bodenart optimalen Eigenschaften herzustellen und zu erhalten. Da die Tragfähigkeit der meisten Böden mit steigendem Wassergehalt abnimmt, spielen hierbei die Entwässerungsmaßnahmen eine wesentliche Rolle.

Die Korngrößenverteilung und die CBR-Werte werden als die Hauptkriterien neben der Bodenverdichtung für die Anwendung der verbesserten Materialien betrachtet. Die Anforderungen der französischen Norm NF P11-300 für die Tragfähigkeit des Planums und NF P98 129 für die Kiestragschichten sind zu beachten. Nach NF P11-300 muss der Verformungsmodul E_{V2} des Planums $E_{V2} \geq 50 \text{ MN/m}^2$ sein. Nach NF P98 129 muss die Körnungslinie zwischen den Linien der Minimal- und Maximalwerte liegen (s. Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8), und der Verformungsmodul für die Tragschicht muss $E_{V2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$ sein. Nach den Untersuchungen von FLOSS [34] gibt es eine Beziehung zwischen den E_V -Modul und den CBR-Wert (s. Anlage A2).

Vom 1. Gemisch (Puzzolan von Djoungo + toniger Sand von PK 4.000) und vom 2. Gemisch (Puzzolan von Limbé + toniger Sand von PK 4.500) sind alle Mischungen geeignet als Baustoff für das Planum, weil der CBR-Wert ≥ 8 ($E_{V2} \geq 50 \text{ MN/m}^2$) ist.

Einen CBR-Wert > 50 (Anforderung der Norm NF P98 129 für ungebundene Tragschichten) weisen die Mischungen 70/30 und 90/10 (2. Gemisch) auf.

Im Bereich der ungebundenen Tragschichten kommen laut der Norm NF P98 129 als Sieblinien für die Tragschicht nur die Mischung 90/10 sowohl vom Gemisch 1 als auch vom Gemisch 2 in Betracht. Allerdings erreicht das Gemisch 1 keinen ausreichenden

CBR-Wert. Das 2. Gemisch mit 90% Puzzolan aus Limbe + 10% tonigem Sand hingegen ist als Baustoff für die ungebundene Tragschicht brauchbar. Hierzu muss die Korngrößenverteilung zwischen 14 und 20 mm verbessert werden (s. Abbildung 4-8). Um den nach der Norm geforderten Siebdurchgang bei $d = 20$ mm von 99% anstatt der vorhandenen 100% zu erzielen muss die Körnung des Puzzolans zwischen 14 und 20 mm fraktioniert, gebrochen und wieder zusammengemischt werden.

4.3.5 Bestimmung der Lagenkoeffizienten der Fahrbahnbefestigungen mit den verbesserten Materialien

Die Bestimmung des SNP-Wertes (Kennwert für die Beschreibung der Tragfähigkeit des gesamten Straßenoberbaus) in HDM-4 kann mit Hilfe von Lagenkoeffizienten erfolgen (vgl. Kapitel 3.5.1 und s. Tab. 3-4). Für ungebundene Tragschichten (*subbase*) werden Lagenkoeffizienten mit folgender Formel berechnet:

$$a_j = -0,075 + 0,184 \log_{10} CBR - 0,0444 (\log_{10} CBR)^2 \quad (\text{Gleichung 4-1})$$

Die Entwicklung der Lagenkoeffizienten der Schichten als Funktion der CBR-Werte sind in der Abbildung 4-10 zu sehen.

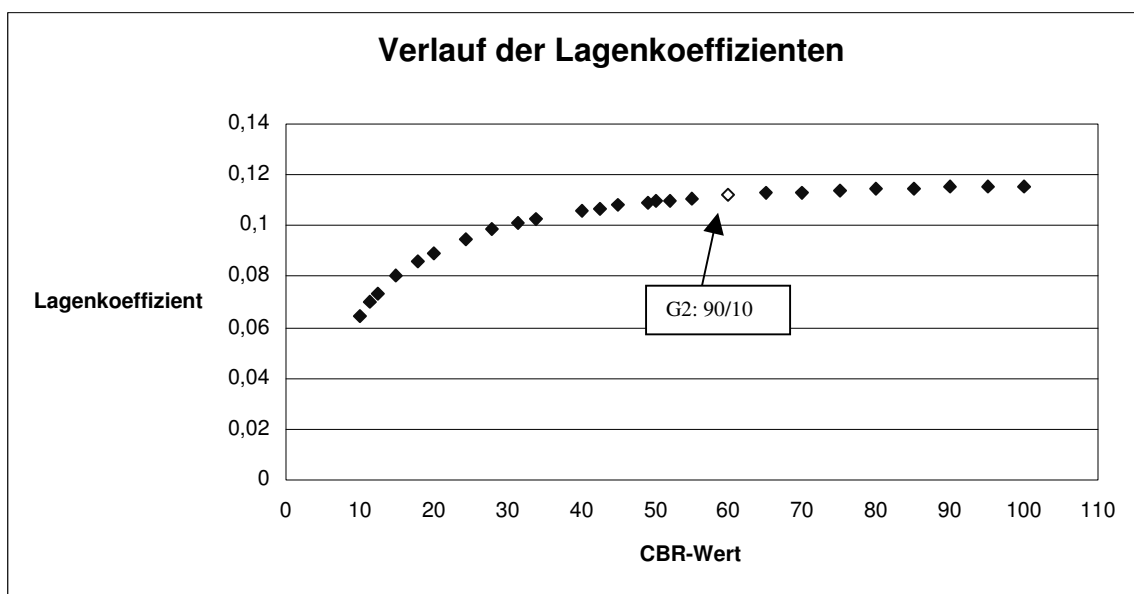


Abbildung 4-10: Verlauf der Lagenkoeffizienten

Der Lagenkoeffizient erhöht sich, und somit der SNP-Wert, bei Steigerung des Puzzolananteils.

4.3.6 Zusammenfassung

Im natürlichen Zustand ist der tonige Sand schlecht als Baustoff für die ungebundenen Tragschichten. Durch die Mischung mit einem bestimmten Prozentsatz von Puzzolan, wird die Korngrößenverteilung verbessert und die Tragfähigkeit erhöht. Diese Technik

zur Verbesserung der Böden (Puzzolan hat zementartige Eigenschaften) hat als Vorteil die Verwendung von regionalen Ressourcen, vor allem wenn man sich in einem Gebiet befindet, wo andere Bindemittel (Kalk, Zement, Bitumen,...) sehr teuer sind.

Hierdurch wird nicht nur der SNP-Wert (Kennwert für die Beschreibung der Tragfähigkeit des gesamten Oberbaues) verbessert, die Straßen in der Nähe der Lagerstätten können zusätzlich auch günstig gebaut und unterhalten werden. In der folgenden Tabelle (Tabelle 4-11) sind die Baukosten von 1 m³ Tragschicht nach Angabe der Straßenbehörde in Douala zu sehen. Die Kosten der verbesserten Materialien (Toniger Sand + Puzzolan) sind Schätzwerte. Der Puzzolan wird mit dem tonigen Sand (reichliches Material der Küstenregion Kameruns) auf der Baustelle gemischt.

Nach Angabe des Bauministeriums besteht der Untergrund der Strecke Douala-Yaounde aus Ton, tonigem Sand und laterithaltigem Kies.

Tabelle 4-11: Baukosten von ungebundenen Tragschichten in Douala

Material	Baukosten von 1 m ³ ungebundene Tragschicht (in US \$)
Schotter	60
Pouzzolan (100/0)	36
Gemisch 90/10	32,4 (*)
Gemisch 70/30	25,2 (*)
Gemisch 50/50	18 (*)

(*) Schätzwert

Der tonige Sand ist überall auf die Strecke Douala – Yaounde zu finden, und es wird angenommen, dass dieses Material nichts kostet.

Nach Angabe des BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) liegen die Transportkosten im ländlichen Raum Afrikas eines schweren LKW auf Asphaltstraße zwischen 0,13 und 0,20 US \$ pro Tonnen-Kilometer (GTZ Erhebung in Kenia [71]).

Die Entwicklung der Baukosten der ungebundenen Tragschicht auf der Strecke Douala-Yaounde unter Berücksichtigung der Transportkosten (mittlerer Wert: 0,17 US \$ pro Tonnen-Kilometer) ist in der folgenden Abbildung (Abbildung 4-11) zu sehen. Die Baukosten mit Schotter bleibt nach Angabe des Bauministeriums konstant, weil drei Entnahmestellen auf die Strecke zu finden sind.

Nach Abbildung 4-11 wird deutlich, dass der Bau der ungebundenen Tragschicht mit dem Gemisch 90/10 kostengünstig ist, wenn die Entfernung von Douala kleiner ist als 100 km.

Zur Schonung der Umwelt und aus Kostengründen wird im Rahmen dieser Arbeit die Verwendung des neuen Materials auf eine Entfernung von 86 km (ein Drittel der Strecke Douala – Yaounde) begrenzt. Der mittlere Wert der Kosten von 1 m³ Tragschicht liegt dann bei 45 US \$ (Schätzwert).

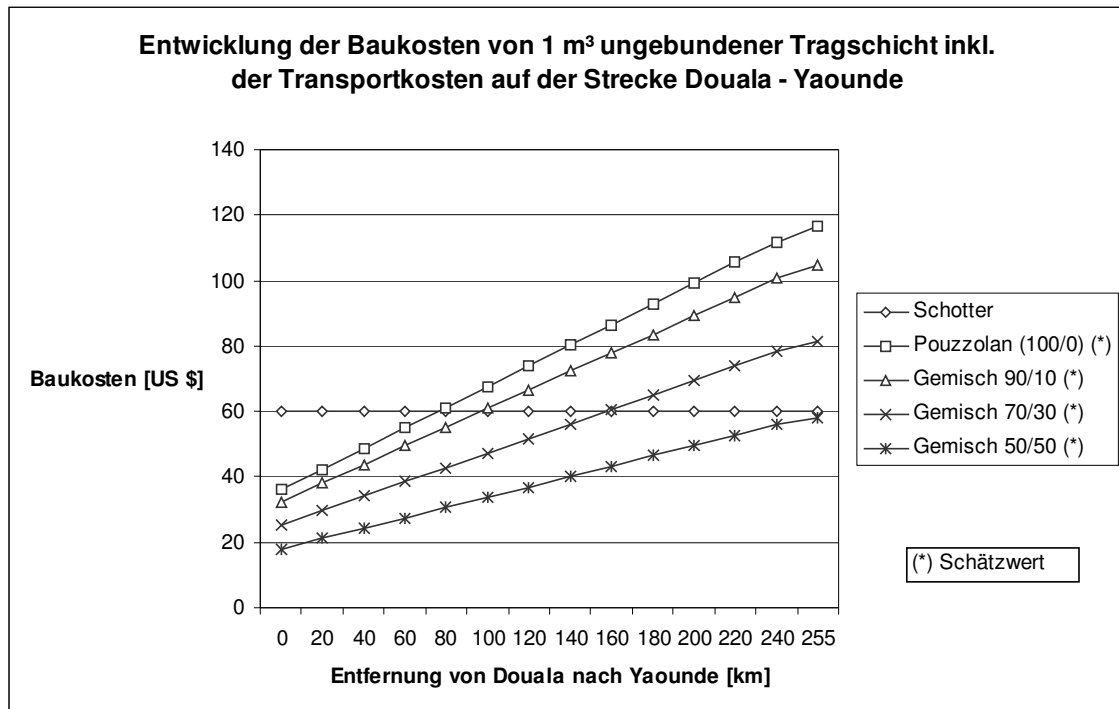


Abbildung 4-11: Entwicklung der Baukosten von ungebundenen Tragschichten zwischen Douala und Yaounde

4.4 Erhaltungs- und Ausbaumethoden

Um die Straßenverbindung Douala – Yaounde als System für einen bequemen, sicheren und ökonomischen Personen- und Gütertransport zu bewahren, muss eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Erhaltungs- und Ausbaustrategie entwickelt werden. Das HDM-4-Programm bietet dem Benutzer die Möglichkeit, verschiedene Erhaltungs- (*Maintenance Standards*) und Verbesserungsalternativen (*Improvement Standards*) zu definieren, damit für jede Strecke eine optimale Strategie bestimmt werden kann. Der Programmbenutzer kann weitere Erhaltungs- und Ausbaustrategien definieren. Die Einheitskosten sind von den lokalen Bedingungen abhängig.

4.4.1 Definition der Wartungs- und Verbesserungsarbeiten

Die folgenden Tabellen (Tabelle 4-12 bis Tabelle 4-15) zeigen die vordefinierten und die selbst definierten Wartungs- und Verbesserungsmaßnahmen für asphaltierte Straßen sowie die Eingreifkriterien und die Einheitskosten unter kamerunischen Bedingungen. Die Einheitspreise der Erhaltungs- /Verbesserungsmaßnahmen mit den neuen Materialien sind eine Schätzung, basierend auf der Tabelle 4-11 und der Abbildung 4-11.

Die Verkehrsklasse wird entsprechend den drei Asphaltstraßentypen Kameruns (Nationale Straßen: 3000 Fz/Tag, Provinzstraßen: 2000 Fz/Tag und Departement Straßen: 750 Fz/Tag) angenommen.

Außer bei den Erhaltungsmaßnahmen, bei denen neue Materialien (selbst definierte Maßnahmen) eingesetzt werden, sind alle Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen der Tabelle 4-13 und Tabelle 4-14 sowohl vordefinierte Maßnahmen des HDM-4-Programm als auch die in Kamerun angewendeten Maßnahmen.

Die Verbesserungsmaßnahmen der Tabelle 4-13 (Verbreiterung und Streifenhinzufügung) sind im HDM-4-Programm vordefiniert. Die Verbesserungsmaßnahmen mit den neuen Materialien sind selbst definiert. Diese Verbesserungsmaßnahmen werden angewendet, um die Wirtschaftlichkeit des Umbaus der Fernstrasse Douala – Yaounde zu überprüfen.

Die Eingreifkriterien E0 bis E6 (s. Tabelle 4-12) sowie $IRI \geq 6$ (bzw. $IRI \geq 5,5$ und $IRI \geq 5$) für die Maßnahme Erneuerung der Deckschicht einer Straße mit schwacher (bzw. mittlerer und hoher) Verkehrsbelastung und $IRI \geq 10$ (bzw. $IRI \geq 9$ und $IRI \geq 8$) für die Maßnahme Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes sind im HDM-4-Programm vordefiniert.

Bisher gibt es in Kamerun keine verlässlichen Eingreifkriterien, weil die Straßenunterhaltung und –erhaltung aus organisatorischen und finanziellen Gründen nicht gesichert ist. Deswegen sind 2269 km von 4547 km der asphaltierten Straßen des Landes in sehr schlechtem Zustand.

Die Eingreifkriterien $IRI \geq 7$ (bzw. $IRI \geq 6,5$ und $IRI \geq 6$) für die Maßnahme Erneuerung der Deckschicht einer Straße mit schwacher (bzw. mittlerer und hoher) Verkehrsbelastung sowie $IRI \geq 11$ (bzw. $IRI \geq 10$ und $IRI \geq 9$) für die Maßnahme Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes wurden zusätzlich untersucht, um die Wirtschaftlichkeit einer Verspätung der Erneuerung der Deckschicht oder der Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes zu überprüfen.

Die Eingreifkriterien E sind in 7 Klassen unterteilt, die sich von 0 bis 6 nach der Schwere des Schadensbildes ergeben.

Tabelle 4-12: Eingreifkriterien der Unterhaltungsmaßnahmen der asphaltierte Straßen

Maßnahmen	Verkehrsklasse	Eingreifkriterien	Bedeutung
Verfüllen von Schlaglöchern	HT (<i>High Traffic</i>) - 3000Fz/Tag	E0	Anzahl der Schlaglöcher pro Kilometer ≥ 10
	MT (<i>Medium Traffic</i>) - 2000Fz/Tag	E1	Anzahl der Schlaglöcher pro Kilometer ≥ 25
	HT (<i>Low Traffic</i>) - 750Fz/Tag	E2	Anzahl der Schlaglöcher pro Kilometer ≥ 50
Oberflächenbehandlung einzelner Schadstellen	Alle Verkehrsklassen	E3	Mehr als 10% der gesamten Fahrbahnoberfläche mit breiten strukturellen Rissen und mehr als 15% thermalen Querrissen pro Kilometer
Oberflächenbehandlung des gesamten Straßenoberfläche	HT (<i>High Traffic</i>) - 3000Fz/Tag	E4	Mehr als 20% der Fahrbahnoberfläche ist beschädigt
	MT (<i>Medium Traffic</i>) - 2000Fz/Tag	E5	Mehr als 30% der Fahrbahnoberfläche ist beschädigt
	HT (<i>Low Traffic</i>) - 750Fz/Tag	E6	Mehr als 40% der Fahrbahnoberfläche ist beschädigt

Die Oberflächenbehandlung der gesamten Straßenoberfläche (*Reseal*) ist eine Maßnahme der periodischen Straßenerhaltung. Diese Erhaltungsmaßnahme, sowie die Verbesserungsmaßnahmen, benötigen vorbereitende Arbeiten. Diese vorbereitenden Maßnahmen sind in Tabelle 4-13 inklusive ihrer Einheitskosten dargestellt.

Tabelle 4-13: Vordefinierte und definierte vorbereitende Arbeiten und Verbesserungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen und die Einheitskosten nach kamerunischen Bedingungen

Maßnahmen	Einheitskosten [US \$]
- Vorbereitende Arbeiten: Flicken (<i>patching</i>)	8/m ²
- Vorbereitende Arbeiten: Beseitigung von Kantenabbrüchen (<i>Edge-repair</i>)	14/m ²
- <i>Widening (WID)</i> : Verbreiterung (Neubau) - <i>Lane Addition: 2 Lanes (ADD2L)</i> : Streifenhinzufügung (2 Streifen, mit Schottertragschicht, Neubau)	140/m ²
- <i>Widening with new material (WIDN)</i> : Verbreiterung mit den verbesserten Materialien (neuer Bau) - <i>Lane Addition (2 Lanes) with new material (ADD2LN)</i> : Streifenhinzufügung (2 Streifen) mit den verbesserten Materialien (Mischung 90/10: Pouzzolan von Limbe 90% + Toniger Sand 10%, Neubau)	136/m ²

Die Verfüllung von Schlaglöchern (*pothole patching*) und die Oberflächenbehandlung einzelner Schadstellen (*crack sealing*) sind die Maßnahmen der laufenden Unterhaltung. Die Verfüllung von Schlaglöchern hat die Priorität vor der Oberflächenbehandlung einzelner Schadstellen. In der nachfolgenden Tabelle sind den einzelnen Erhaltungsmaßnahmen Kennungen zugewiesen. Die laufende Unterhaltung ist in allen Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt und wird durch P symbolisiert. LT steht für schwache Verkehrsbelastung, MT für mittlere Verkehrsbelastung und HT für hohe Verkehrsbelastung. Die Zahl (1 bis 6) steht für die Maßnahmennummer und C bedeutet *Cameroon*.

Tabelle 4-14: Vordefinierte und definierte Wartungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen sowie die Eingreifkriterien und die Einheitskosten nach kamerunischen Bedingungen

Erhaltungsmaßnahmen (C: Cameroon)		Eingreifkriterien Verkehrsbelastung:			Einheits- Kosten
		<u>Schwach</u> <i>LT (Low Traffic)</i> (750Fz./Tag)	<u>Mittel</u> <i>MT (Medium Traffic)</i> (2000Fz./Tag)	<u>Hoch</u> <i>HT (High Traffic)</i> (3000Fz./Tag)	[US \$]
PLT1C, PMT1C und PHT1C: Patch & Crack seal	Verfüllen von Schlaglöchern	E2	E1	E0	8/m ²
	Oberflächenbehandlung einzelner Schädstellen	E3	E3	E3	7/m ²
PLT2C, PMT2C und PHT2C: Patch, Reseal & Reconstruction	Verfüllen von Schlaglöchern	E2	E1	E0	8/m ²
	Oberflächenbehandlung	E6	E5	E4	7/m ²
	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>recycling</i>)	IRI ≥ 10	IRI ≥ 9	IRI ≥ 8	110/m ²
PLT3C, PMT3C und PHT3C: Patch, Overlay & Reconstruction	Verfüllen von Schlaglöchern	E2	E1	E0	8/m ²
	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 6	IRI ≥ 5,5	IRI ≥ 5	16/m ²
	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>recycling</i>)	IRI ≥ 10	IRI ≥ 9	IRI ≥ 8	110/m ²
PLT4C, PMT4C und PHT4C: Patching, Reseal, Overlay & Reconstruction	Verfüllen von Schlaglöchern	E2	E1	E0	8/m ²
	Oberflächenbehandlung	E6	E5	E4	7/m ²
	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 6	IRI ≥ 5,5	IRI ≥ 5	16/m ²
	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>recycling</i>)	IRI ≥ 10	IRI ≥ 9	IRI ≥ 8	110/m ²
PLT5C, PMT5C und PHT5C: Patch, Overlay & Reconstruction	Verfüllen von Schlaglöchern	E2	E1	E0	8/m ²
	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 7	IRI ≥ 6,5	IRI ≥ 6	16/m ²
	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>recycling</i>)	IRI ≥ 11	IRI ≥ 10	IRI ≥ 9	110/m ²
PHT6C: Patching, Reseal, Overlay & Reconstruction with new material (Mit den verbesserten Materialien)	Verfüllen von Schlaglöchern	E2	E1	E0	8/m ²
	Oberflächenbehandlung	E6	E5	E4	7/m ²
	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 6	IRI ≥ 5,5	IRI ≥ 5	16/m ²
	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>recycling</i>)	IRI ≥ 10	IRI ≥ 9	IRI ≥ 8	106/m ²

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden außer der sogenannten Basisoption, die lediglich grundlegende Routinemaßnahme umfasst, weitere Straßenverbesserungs- und Erhaltungsalternativen (*Improvement und Maintenance Standards*) definiert (s. Tabelle 4-15, Tabelle 4-16 und Tabelle 4-17).

Da das neue Material aus Kostengründen und zur Schonung der Umwelt nur auf einer begrenzten Entfernung verwendet werden kann (s. Abbildung 4-11), wird im Rahmen dieser Projektanalyse die Fernstraße Douala – Yaounde in zwei Abschnitte geteilt: Der erste Abschnitt von Douala bis zum Kilometer 86 (PK 86), wo das neue Material und der Schotter als Baustoff für die ungebundene Tragschicht verwendet werden kann, und der zweite Abschnitt von PK 86 bis Yaounde, wo nur der Schotter als Baumaterial benutzt wird.

Als Material für die ungebundene Tragschicht kommt nur reines Puzzolan aus Limbe (100/0) und eine Mischung mit 90% Puzzolan aus Limbe und 10% tonigen Sand infrage, da nur diese beiden Gemische die Anforderungen der Norm NF P98 129 für die Kiestragschichten erfüllen. Da aber das genannte Gemisch aus Puzzolan und tonigem Sand preiswerter ist (s. Abbildung 4-11 und Tabelle 4-11) als reines Puzzolan, wird dieses Gemisch für die Erhaltung und Verbesserung der Fernstraße Douala – Yaounde verwendet.

Die in Tabelle 4-15 bis Tabelle 4-17 aufgeführten Erhaltungs- und Verbesserungsstrategien kommen in Frage, da es sich hier um eine Fernstraße handelt und nur diese die gewünschte Funktionalität gewährleisten.

Im Rahmen dieser Projektanalyse werden alle vordefinierten und selbst definierten Unterhaltungs-, Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen der Tabelle 4-14 und der Tabelle 4-15 (hohe Verkehrsbelastung) angewendet, um die wirtschaftlichste und beste Erhaltungs- und Verbesserungsstrategie für die Fernstraße Douala – Yaounde zu bestimmen.

Die Basisoption sowie die Alternativen A7, B7, C7, D7 und E7 sind die Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen ohne Ausbaumaßnahmen (Straßenbreite: 7m).

Die Alternativen A10, B10, C10, D10, E10 und A10n, B10n, C10n, D10n, E10n sind aus den zuvor genannten Erhaltungsmaßnahmen und der Ausbaumaßnahme Verbreiterung um 3m mit dem alten Material (Schotter) und Verbreiterung um 3m mit dem neuen Material (Pouzzolan von Limbe 90% + Toniger Sand 10%) definiert (Straßenbreite: 10m). Die Alternative mit dem neuen Material ist nur auf der Strecke Douala – PK 86 anwendbar.

Die Alternativen A14, B14, C14, D14, E14 und A14n, B14n, C14n, D14n, E14n sind aus den Erhaltungsmaßnahmen A7, B7, C7, D7, E7 und der Ausbaumaßnahme Streifenhinzufügung (2 Streifen: 7m) mit dem alten Material (Schotter) und Streifenhinzufügung (2 Streifen: 7m) mit dem neuen Material (Pouzzolan von Limbe 90% + Toniger Sand 10%) weiterentwickelt worden (Straßenbreite: 14m).

Es wird angenommen, dass die Ausbaumaßnahmen (Verbreiterung um 3m und Streifenhinzufügung) auf der Strecke Douala – PK 86 das erste Baujahr (2006) und auf der Strecke PK 86 – Yaounde das zweite (2007: 50%) und das dritte Baujahr (2008: 50%) durchgeführt wird.

Die Einheitspreise sowie die Eingreifkriterien der Einzelmaßnahmen sind in der Tabelle 4-12, Tabelle 4-13 und Tabelle 4-14 zu sehen.

Programmentechnisch werden im Rahmen dieser Projektanalyse die Einheitskosten der Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen ohne Einbeziehung der Mehrwertsteuer angegeben. Nach den Berechnungen werden die Kosten mit Berücksichtigung der Mehrwertsteuer (hier: 18,7%) betrachtet.

Bei der späteren Auswertung werden die alternativen Strategien jedes Straßenabschnittes (Douala – PK 86 und PK 86 - Yaounde) mit der Basisoption vergleichen, um einen Nutzen (Gewinn) jeder Alternative gegenüber der Basisoption zu bestimmen. Ein Gewinn kann dabei grundsätzlich bei einem Nettogegenwartswert (NPV) größer als Null erwartet werden.

Tabelle 4-15: Erhaltungsalternativen der beiden Abschnitte für die existierende Straße (7m)

Alternative Maßnahme	Basisoption (PHT1C)	Alt.A7 (PHT2C)	Alt.B7 (PHT3C)	Alt.C7 (PHT4C)	Alt.D7 (PHT5C)	Alt.E7 (PHT6C)
	7m					
Verfüllen von Schlaglöchern	X	X	X	X	X	X
Oberflächenbehandlung einzelnen Schadstelle	X	X	X	X	X	X
Oberflächenbehandlung		X		X		X
Decke 50 mm			X	X	X	X
Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes		X	X	X	X	
Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes mit den neuen Material						X

Die Alternative E7 gilt nur für den Abschnitt Douala –PK 86, wo das neue Material anwendbar ist.

Tabelle 4-16: Ausbaualternativen (Verbreiterung:3m) der beiden Abschnitte (10m)

Alternative Maßnahme	Alt. A10 <i>PHT2C & WID3</i>	Alt.A10n <i>PHT2C & WID3N</i>	Alt.B10 <i>PHT3C & WID3</i>	Alt.B10n <i>PHT3C & WID3N</i>	Alt.C10 <i>PHT4C & WID3</i>	Alt.C10n <i>PHT4C & WID3N</i>	Alt.D10 <i>PHT5C & WID3</i>	Alt.D10n <i>PHT5C & WID3N</i>	Alt.E10 <i>PHT6C & WID3</i>	Alt.E10n <i>PHT6C & WID3N</i>
	10m									
Verfüllen von Schlaglöchern	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oberflächenbehandlung einzelnen Schadstelle	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flicken (Vorbereitende Arbeiten)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Beseitigung von Kantenabbrüche (Vorbereitende Arbeiten)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oberflächenbehandlung	X	X			X	X			X	X
Decke 50 mm			X	X	X	X	X	X	X	X
Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	X	X	X	X	X	X	X	X		
Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes mit den neuen Material									X	X
Verbreiterung um 3m mit den alten Material	X		X		X		X		X	
Verbreiterung um 3m mit den neuen Material		X		X		X		X		X

Die Alternativen A10n, B10n, C10n, E10 und E10n sowie A14n, B14n, C14n, E14 und E14n (Verwendung des neuen Materials) kommen nur in Frage für den Straßenabschnitt Douala – PK 86.

Tabelle 4-17: Ausbaualternativen (Streifenhinzufügung:7m) der beiden Abschnitte (14m)

Alternative	Alt. A14 <i>PHT2C & ADD2L</i>	Alt.A14n <i>PHT2C & ADD2LN</i>	Alt.B14 <i>PHT3C & ADD2L</i>	Alt.B14n <i>PHT3C & ADD2LN</i>	Alt.C14 <i>PHT4C & ADD2L</i>	Alt.C14n <i>PHT4C & ADD2LN</i>	Alt.D14 <i>PHT5C & ADD2L</i>	Alt.D14n <i>PHT5C & ADD2LN</i>	Alt.E14 <i>PHT6C & ADD2L</i>	Alt.E14n <i>PHT6C & ADD2LN</i>
Maßnahme	14m									
Verfüllen von Schlaglöchern	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oberflächenbehandlung einzelnen Schadtstelle	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flicken (Vorbereitende Arbeiten)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Beseitigung von Kantenabbrüche (Vorbereitende Arbeiten)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oberflächenbehandlung	X	X			X	X			X	X
Decke 50 mm			X	X	X	X	X	X	X	X
Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	X	X	X	X	X	X	X	X		
Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes mit den neuen Material									X	X
Streifenhinzufügung (7m) mit den alten Material	X		X		X		X		X	
Streifenhinzufügung (7m) mit den neuen Material		X		X		X		X		X

Die vorbereitenden Arbeiten Flicker und Beseitigung von Kantenabbrüche kommen infrage, wenn es sich um folgende Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen handelt: Oberflächenbehandlung der gesamten Straßenoberfläche, Verbreiterung um 3m oder Streifenhinzufügung.

4.4.2 Struktur der angebauten Streifen

Der Querschnitt der Fernstraße Douala – Yaounde vor und nach der Unterhaltungs- (bzw. Ausbau-) Maßnahme ist in der folgenden Abbildung (Abbildung 4-12) zu sehen. Die alte Bauweise ist der Straßenquerschnitt der Alternativen A7, B7, C7, D7, A10, B10, C10, D10, A14, B14, C14. Die Alternativen E7, A10n, B10n, C10n, D10n, E10n A14n, B14n, C14n, D14n und E14n haben einen Straßenquerschnitt entsprechend dem neuen Aufbau [47], [72].

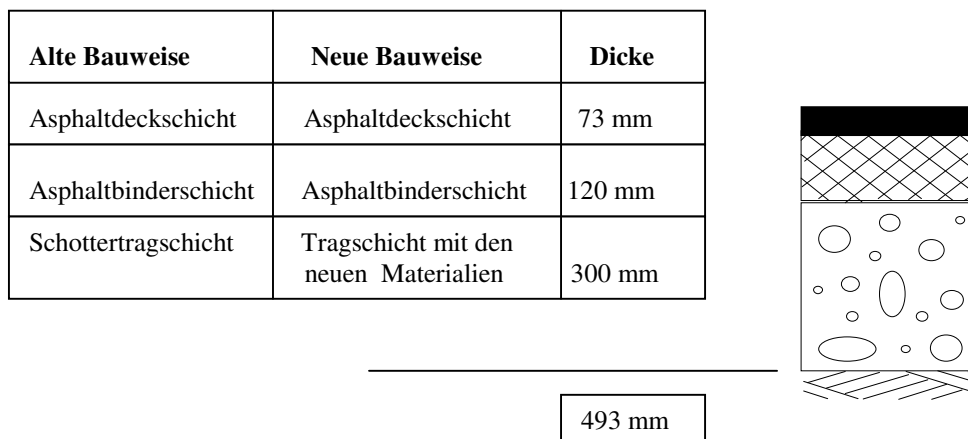


Abbildung 4-12: Querschnitt der Fernstraße Douala – Yaounde:

Der CBR-Wert des Untergrundes ist von der Bodenart (Ton, toniger Sand oder laterithaltiger Kies) abhängig und beträgt 8 (mittlerer Wert). Die Schottertragschicht hat einen CBR-Wert von 80 (nach Angabe des Bauministeriums) und das neue Material (Gemisch 2: 90/10) einen CBR-Wert von 60.

Die SNP-Werte des verbreiterten Straßenteils und der hinzugefügte Straßenstreifen können nach der Methode der Lagenkoeffizienten, der Schichtdicken und des CBR des Untergrundes berechnet werden (vgl. Kap.3.5.1).

Im Weiteren wird der Rechengang für die Berechnung der Lagenkoeffizienten a_i für die Deckschicht und die Binderschicht sowie des Lagenkoeffizienten a_j für die Tragschicht und des SNP-Wertes nach unterschiedlichen Aufbauarten gezeigt .

- Deckschicht (*surfacing*): $h = 73 \text{ mm}$, $a_i = 0,45$ (Annahme, s. Tab. 3-4)
- Binderschicht (*base*) : $h = 120 \text{ mm}$, $a_i = 0,32$ (Annahme, s. Tab. 3-4))
- SNBASUs = 2,80725 (s. Anlage A1)
- Tragschicht (*subbase*) der alten Bauweise (mit Schotter):
 $h = 300 \text{ mm}$, $a_j = 0,14$ (Annahme, s. Tab. 3-4) und
 SNSUBBAs = 1,6596 (s. Anlage A1)
- Tragschicht (*subbase*) mit der neuen Bauweise (verbesserte Materialien
 Puzzolan von Limbe 90 % + toniger Sand 10 %), CBR = 60
 SNSUBBAs = 1,324 (s. Anlage A1)
- Untergrund (subgrade): CBR = 8
 SNSUBGs = 0,6277 (s. Anlage A1)

Der SNP ist die Summe von SNBASUs, SNSUBBAs und SNSUBGs.

Tabelle 4-18: Die SNP-Werte des verbreiterten Straßenteils und der hinzugefügten Straßenstreifen

verbreiteter Straßenteil oder hinzugefügter Straßenstreifen	SNP - Wert
Tragschicht mit Schotter (Alte Bauweise)	5,09
Tragschicht mit verbesserten Materialien (Neue Bauweise)	4,76

4.5 Projektanalyse mit HDM-4

Die eigentlichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im HDM-4-Programm können je nach Qualität der vorliegenden Daten auf drei unterschiedlichen Entscheidungsebenen stattfinden, nämlich auf der Projekt-, der Programm- sowie der Netzstrategieebene. Während für die Projektanalyse ziemlich genaue Eingabewerte (*low level data*) erforderlich sind, reichen für Untersuchungen hinsichtlich der Netzstrategie allgemeine statistische Daten (*high level data*) aus.

Die untersuchten Daten für die vorliegende Arbeit sind von der Straßenbaubehörde (Direction des Routes) in Kamerun. Bevor die Rechenschleifen über den gesamten Prognosezeitraum gezogen werden, muss man noch als letzte Hauptgruppe der Eingabedaten ein Projekt (Rehabilitation Douala – Yaounde) konzipieren. Allerdings werden hier keine neuen Angaben gemacht, es sollen die zuvor recherchierten grundsätzlichen Daten für eine Analyse zusammengestellt werden.

Zu Beginn der Projektanalyse müssen die allgemeinen Daten (*General*) eingetragen werden. Nach einer kurzen Beschreibung der Projekte (*description*) erfolgt die Angabe des Jahres, ab dem die Analyse beginnen soll (*start year*), sowie der Dauer des Analysezeitraumes (*Duration*). In diesen Fällen steht das Jahr 2006 als Zeitpunkt für den Analysebeginn fest und die Betrachtungsperiode ist auf 20 Jahre festgelegt (s. Abbildung 4-13).

The screenshot shows the 'General' data entry form in the HDM-4 software. The 'Description' field is filled with 'Rehabilitation Douala - Yaounde'. Under 'Analyse by', the 'Section' radio button is selected. The 'Start year' is set to 2006 and the 'Analysis period' is 20 years. The 'Road Network' dropdown is set to 'Road Network Douala - Yaounde' and the 'Vehicle Fleet' dropdown is set to 'Cameroon National Vehicle Characteristics'. In the 'Currencies' section, 'Fleet' is set to 'US Dollar' with a multiplier of 1, 'Works' is set to '<none>' with a multiplier of 1, and the 'Output' dropdown is set to 'US Dollar'.

Abbildung 4-13: Projektdefinition Rehabilitation Douala-Yaounde

Im Weiteren werden zum einen die Straßenabschnitte Douala – Yaounde mit einer Verkehrsbelastung von 3796 Kfz/24h im Querschnitt selektiert (*select section*) (s.

Abbildung 4-1), zum anderen die Auswahl der berücksichtigten Fahrzeugtypen in der Fahrzeugflotte (*Select Vehicle*) (s. Tabelle 4-3) bestätigt. Wichtig ist die Karteikarte mit den Namen *Define Normal Traffic*, wo für jeden Fahrzeugtyp der prozentuale Anteil an der gesamten Verkehrsbelastung (*Initial Composition*) im Jahr der Datenerhebung registriert werden kann (s. Tabelle 4-3). Ebenfalls kann hier die jährliche Zuwachsrates des Verkehrsaufkommens (*Annual increase*) berücksichtigt werden. Den vorliegenden Untersuchungen liegen die Daten der kamerunischen Straßenbaubehörde zugrunde.

Als nächster Schritt müssen in der Eingabemaske *Specify Alternatives* die in Kapitel 4.2 festgelegten Erhaltungs- und Ausbaualternativen aus dem Maßnahmenkatalog (*Work Standards*) ausgewählt werden. Neben der sogenannten Basisoption (*Base Option*), die lediglich zwei Routinemaßnahmen (Verfüllen von Schlaglöchern und Oberflächenbehandlung einzelner Schädstellen) der baulichen Unterhaltung vorsieht, werden in diesen Untersuchungen 25 weitere Alternativen für den Abschnitt Douala – PK 86 und 13 weitere Alternativen für den Abschnitt PK 86 - Yaounde berücksichtigt. Die Unterhaltungs- und Ausbaustrategien aller Maßnahmen sind in den Tabellen (Tabelle 4-15 bis Tabelle 4-17) zu sehen.

Bevor die eigentliche Analyse gestartet werden kann, wird noch in der Karteikarte *Setup run* der Diskontsatz eingetragen, mit dem die Baulastträger- und die Straßennutzerkosten diskontiert werden. Er wird entsprechend der Angabe der Straßenbehörde Kameruns auf 12 % gesetzt. Abgesehen davon können alle Kosten in den Ausgabedateien der Wirtschaftlichkeitsanalyse sowohl mit Einbeziehung der Mehrwertsteuer als auch ohne angesehen werden.

Die Ausgabe der berechneten Daten erfolgt in Form mehrerer Reports, (s. Abbildung 4-14). Die Ausgabereports werden generell in fünf Hauptgruppen unterteilt: Verkehrsdaten (*Traffic*), Verschlechterung des Straßenzustandes / Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen (*Deterioration / Works Effects*), Daten (*Road User Effects*), Umwelteinflüsse (*Environmental Effects*) und Kalkulation (*Cost Streams*).

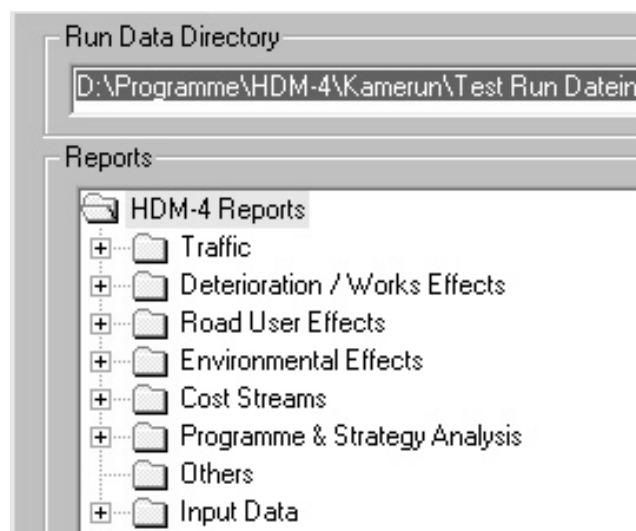


Abbildung 4-14: Ausgabereports der Projektanalyse Rehabilitation Douala – Yaounde

4.6 Ökonomische Bewertung der Ergebnisse

Die Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Erhaltungs- und Verbesserungsstrategien für die Strecke Douala – Yaounde ist das Hauptziel dieser Untersuchungen mit Hilfe des HDM-4-Programms im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Das Entscheidungskriterium ist hier der Nettogegenwartswert (NPV), der sich aus der Differenz der diskontierten Kosten der Basisoption und der jeweiligen Erhaltungsalternative zusammensetzt.

Die Alternative, die den höchsten Nettogegenwartswert (NPV) des Straßenabschnittes (Douala – PK 86 bzw. PK 86 – Yaounde) hat, wird als beste Strategie vorgeschlagen.

4.6.1 Verkehrsaufkommen

Die durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung durch den motorisierten Verkehr im Querschnitt, die im Jahr 2003 erhoben wurde und 3796 Kfz/24h betrug, beträgt 4088 Kfz/24h 2006 und wird 2025 6535 Kfz/24h betragen. Die Zuwachsrate beträgt jährlich 2,5%.

4.6.2 Entwicklung der Längsunebenheit

Für eine bessere Darstellung der einzelnen Unterhaltungs- Erhaltungs- und Ausbaustrategien, für die Fernstraße Douala – Yaounde, werden die Ergebnisse in vier Diagrammen dargestellt.

In den Abbildungen (Abbildung 4-15 bis Abbildung 4-18) sind die Veränderung der Längsunebenheit, die durch den Unebenheitsindex IRI beschrieben werden, je nach Straßenabschnitt und Alternative zu sehen.

Die Beschreibung der verschiedenen Verfallskurven sind in der Anlage A2 zusammengefasst.

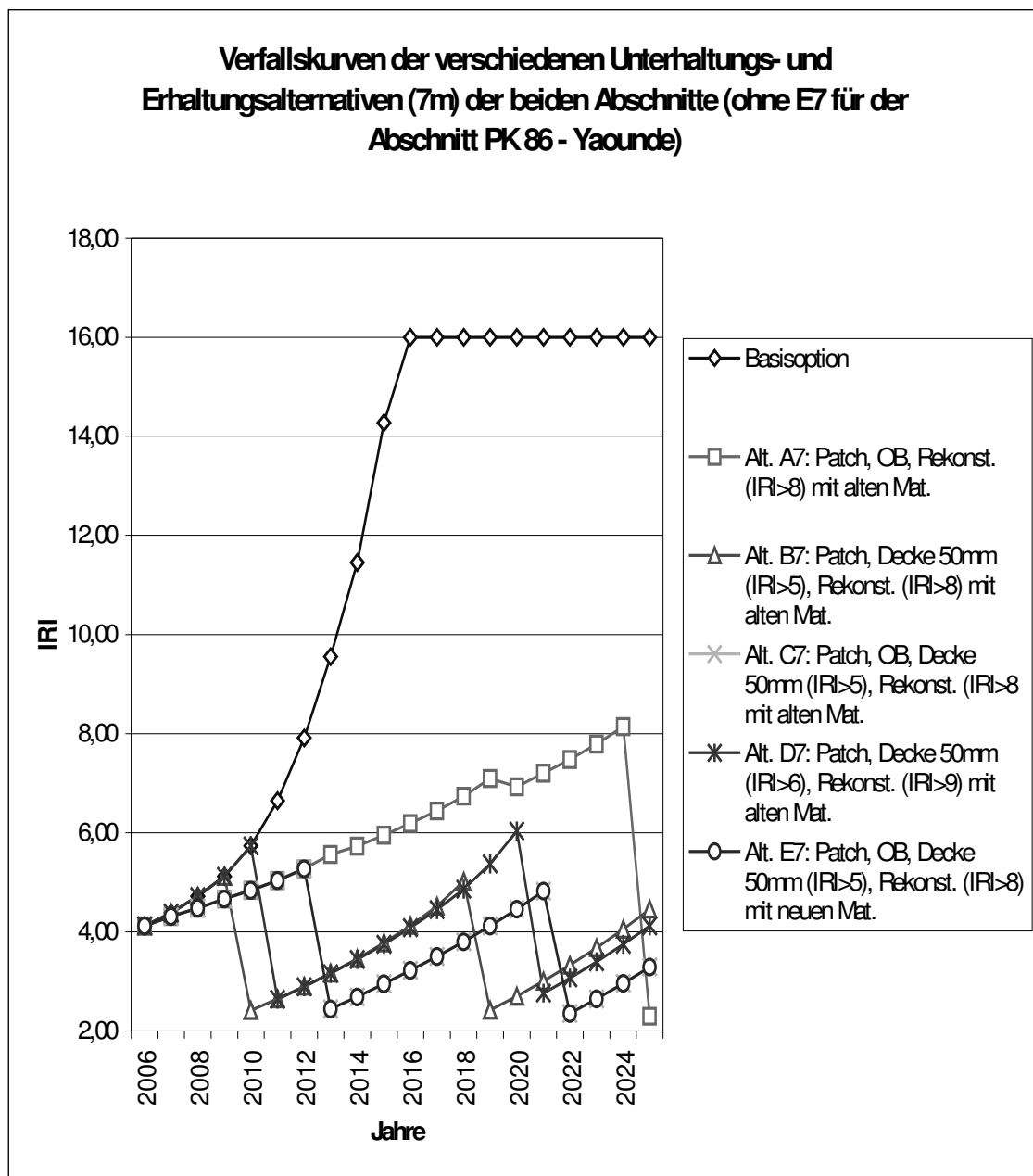


Abbildung 4-15: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Unterhaltungs- und Erhaltungsalternative (7m) der beiden Abschnitte

Die Verfallskurve der Alternative E7 gilt nur für den Abschnitt Douala – PK 86, weil das neue Material nur auf diese Strecke wirtschaftlich verwendet werden kann.

Die Verfallskurven der Alternativen E7 und C7 sind gleich, weil bis zum Ende der Analyseperiode (2025) die Erhaltungsmaßnahme: Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes noch nicht durchgeführt werden muss, da die Längsunebenheit den Wert 8 noch nicht erreicht hat.

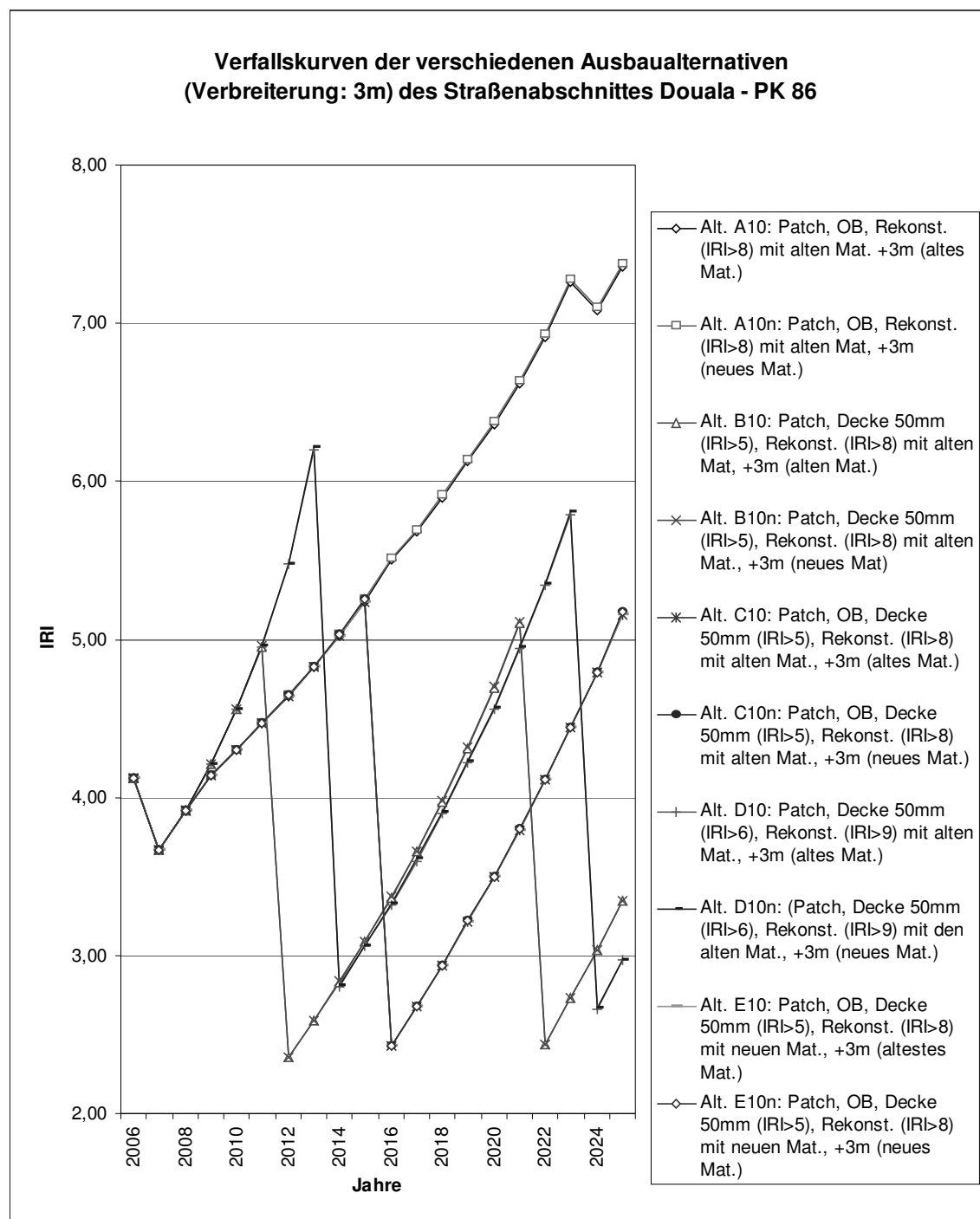


Abbildung 4-16: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Ausbaualternativen
(Verbreiterung: 3m) des Straßenabschnittes Douala – PK86

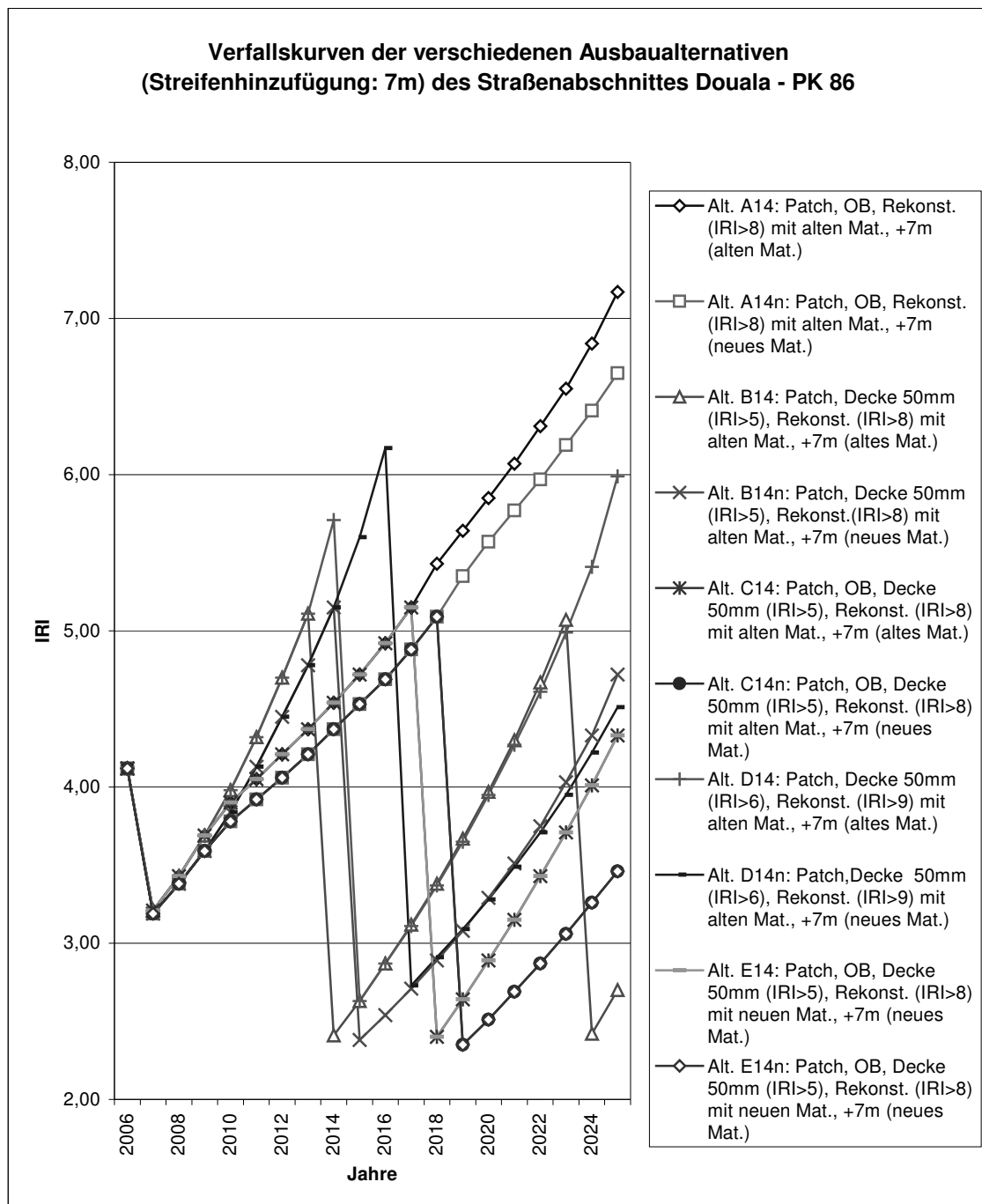


Abbildung 4-17: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Ausbaualternativen (Streifenhinzufügung: 7m) des Straßenabschnittes Douala – PK86

Auffällig ist in den Abbildungen 4-15, 4-16 und 4-17, dass bei breiterer Straße die Verfallskurven langsamer steigen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Verkehrsbelastungen eine bessere Verteilung auf den Straßen haben. Auf der breiten Straße fahren die LKWs nicht nur auf einer Linie der Fahrbahn. Die Verfallskurven aller Erhaltungsalternativen verschlechtern sich im Laufe der Zeit bis zum Zeitpunkt, wenn die Eingreifkriterien erreicht sind. Nach der Durchführung der

Erhaltungsmaßnahmen: Oberflächenbehandlung, Erneuerung der Deckschicht oder Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes senkt sich der IRI – Wert. Für die Basisoption (Abbildung 4-15) steigt der IRI-Wert bis 2016, wenn der Wert 16 erreicht ist. Die Straße ist unbefahrbar und dieser Wert bleibt konstant bis 2025 (Analysejahrende).

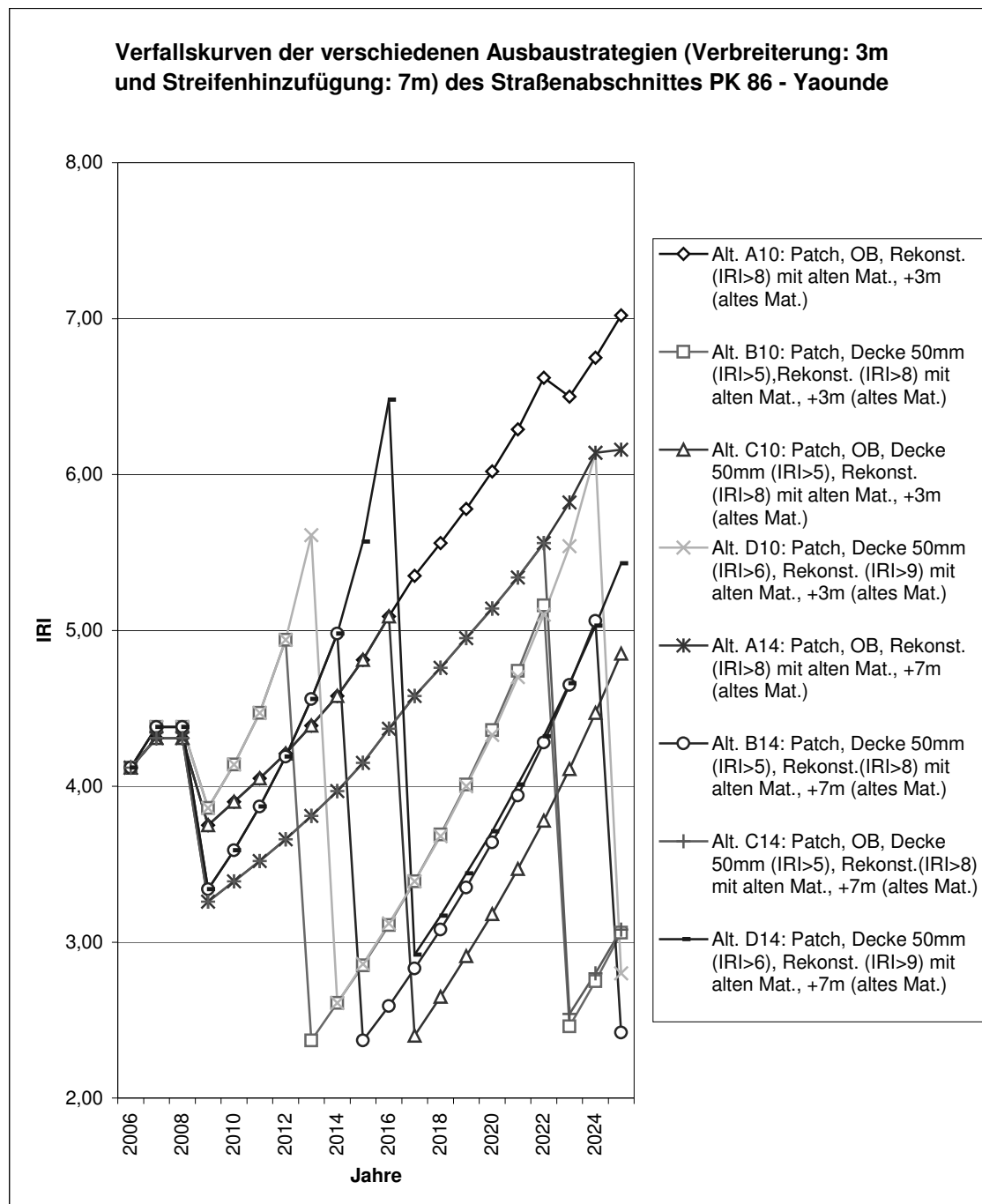


Abbildung 4-18: Entwicklung der Längsunebenheit der verschiedenen Ausbaualternativen (Verbreiterung: 3m und Streifenhinzufügung: 7m) des Straßenabschnittes PK86 - Yaounde

Zwischen 2007 und 2008 (s. Abbildung 4-18) bleibt der mittlere IRI-Wert konstant, weil die Ausbaumaßnahme auf der Strecke PK 86 – Yaounde innerhalb von zwei Jahren durchgeführt wird. Im ersten Baujahr wirkt die Verbesserung des IRI nur auf 50% der Strecke. Diese Verbesserung wird auf der anderen Seite durch die Verschlechterung des zweiten Teils, der ab 2008 ausgebaut wird, kompensiert.

In der Anlage A2 sind die Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen, das Jahr ihrer Durchführung, die Eingreifkriterien sowie die damit verbundenen Kosten je Straßenabschnitt und je Alternative zusammengefasst. Die Straßenlänge des ersten Abschnittes (Douala – PK 86) beträgt 86 km, die Straßenlänge des zweiten Abschnittes 169 km.

4.6.3 Wirtschaftliche Untersuchungen

Die Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Erhaltungs- und Ausbaustrategien für die definierten Streckenabschnitte ist das Ziel dieser Projektanalyse.

Der Nettogegenwartswert wird als Entscheidungskriterium für die Wahl der günstigsten Lösung beim Erhaltungsmanagement aus der gesamtwirtschaftlichen Sicht einer Erhaltungsmaßnahme in einer Betrachtungsperiode von 20 Jahren verwendet.

Im Rahmen dieser Arbeit werden der Baulastträgerkostenanstieg, die Einsparung der Straßennutzerkosten, der Nettogegenwartswert und der interne Zinsfuß unter Berücksichtigung des Diskontsatzes angegeben. Die Baukosten werden mit Berücksichtigung der Mehrwertsteuer von 18,7% betrachtet.

In der Tabelle 4-19 und der Tabelle 4-20 sind die Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen (*Economic Analysis Summary*) und der wirtschaftlichen Indikatoren (*Economic Indicators Summary*) der beiden Straßenabschnitte (Douala – PK 86 und PK 86 – Yaounde) zu sehen. Die Kosten sind in Million US \$ angegeben (Diskontsatz: 12%).

Für eine bessere Vergleichbarkeit werden die Ergebnisse der gleichen Straßenbreiten in den Tabellen und den Abbildungen nebeneinander platziert.

In der Abbildung 4-19 und Abbildung 4-20 ist der Nettogegenwartswert (NPV) als Funktion der Baulastträgerkosten je Alternative des Straßenabschnittes Douala – PK 86 (86 km) und PK 86 – Yaounde (139 km) zu sehen.

Die wirtschaftlichen Indikatoren der Alternativen C und E sind gleich, weil bis zum Ende der Analyseperiode die Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (Unterschied zwischen den beiden Alternativen) noch nicht durchgeführt ist. Das Eingreifkriterium ($IRI \geq 8$) ist noch nicht erfüllt.

Tabelle 4-19: Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen des Abschnittes Douala – PK 86

Alternative	Baulastträgerkostenanstieg [Mio. US \$]	Einsparung der Straßennutzerkosten		Nettogege- nwartswert (NPV) [Mio. US \$]	Interner Zinsfuß (IRR) [%]
		Fahrzeugbetriebskosten [Mio. US \$]	Reisekosten [Mio. US \$]		
Alt.A7	15,64	122,98	71,95	179,30	67,7
Alt.B7	9,28	157,24	80,47	228,42	130,3
Alt.C7	10,61	150,82	79,87	220,09	69,4
Alt.D7	8,06	149,75	79,31	221,01	166,5
Alt.E7	10,64	150,82	79,87	220,09	69,4
Alt.A10 (+3m)	45,84	134,21	75,27	163,63	30,5
Alt.A10n (N+3m)	44,18	134,07	75,20	164,47	30,8
Alt.B10 (+3m)	48,75	158,83	80,41	190,48	32,2
Alt.B10n (N+3m)	47,72	158,78	80,40	191,46	32,5
Alt.C10 (+3m)	49,79	151,89	79,85	181,94	31,1
Alt.C10n (N+3m)	48,76	151,83	79,84	182,90	31,5
Alt.D10 (+3m)	46,45	147,65	78,63	179,81	31,5
Alt.D10n (N+3m)	45,42	147,55	78,60	180,73	31,9
Alt.E10 (+3m)	49,79	151,89	79,85	181,94	31,1
Alt.E10n (N+3m)	48,76	151,83	79,84	182,90	31,5
Alt.A14 (+7m)	94,75	139,62	80,83	125,69	21,4
Alt.A14n (N+7m)	92,11	142,83	81,89	132,60	22,0
Alt.B14 (+7m)	98,11	154,26	84,10	140,24	22,1
Alt.B14n (N+7m)	91,96	154,70	84,15	146,88	22,0
Alt.C14 (+7m)	98,13	151,61	83,96	137,44	21,8
Alt.C14n (N+7m)	95,13	153,20	84,10	142,17	22,3
Alt.D14 (+7m)	96,61	149,22	83,25	135,86	21,9
Alt.D14n (N+7m)	90,39	149,41	83,10	142,11	22,5
Alt.E14 (+7m)	98,13	151,61	83,96	137,44	21,8
Alt.E14n (N+7m)	95,13	153,20	84,10	142,17	22,3

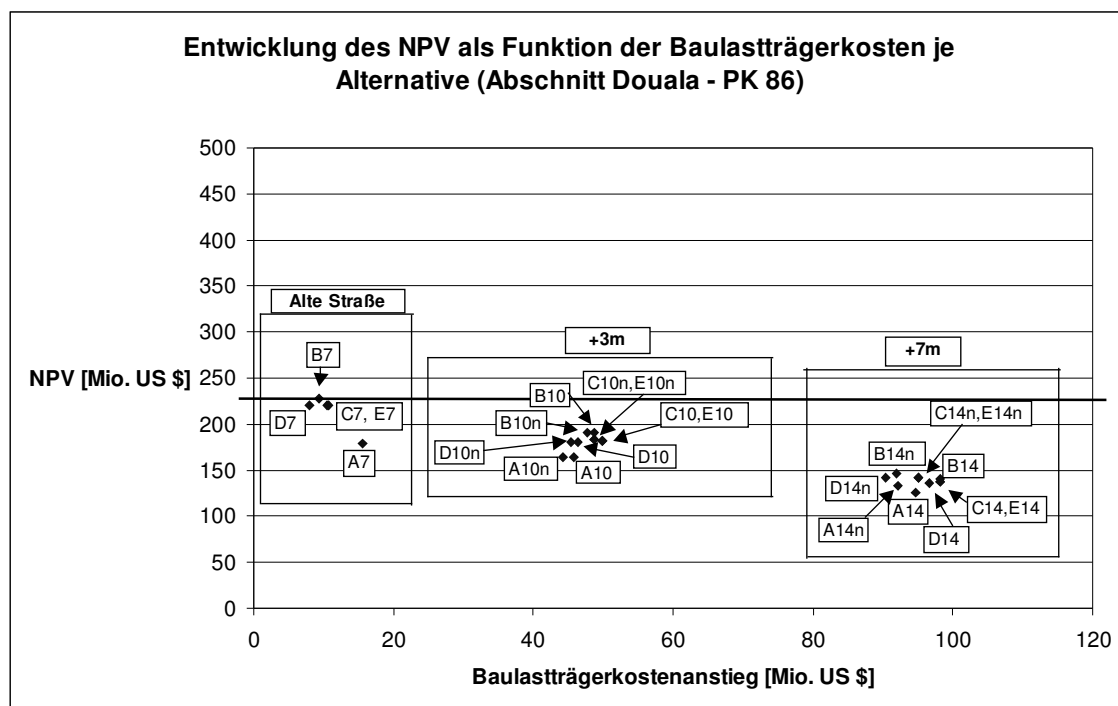


Abbildung 4-19: Nettogegegenwartswert als Funktion der Baulastträgerkosten je Alternative des Abschnittes Douala – PK 86

Tabelle 4-20: Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen des Abschnittes PK 86 - Yaounde

Alternative	Baulasträgerkostenanstieg [Mio. US \$]	Einsparung der Straßennutzerkosten		Nettogegenwartswert (NPV) [Mio. US \$]	Interner Zinsfuß (IRR) [%]
		Fahrzeugbetriebskosten [Mio. US \$]	Reisekosten [Mio. US \$]		
Alt.A7	30,72	241,68	141,39	352,35	67,7
Alt.B7	18,24	308,99	158,13	448,88	130,3
Alt.C7	20,83	296,38	156,96	432,51	69,4
Alt.D7	15,83	294,28	155,86	434,31	166,5
Alt.A10 (+3m)	73,68	272,34	151,45	350,11	37,1
Alt.B10 (+3m)	84,36	306,21	157,78	379,63	38,0
Alt.C10 (+3m)	76,86	300,46	157,56	381,16	37,6
Alt.D10 (+3m)	80,74	285,92	154,37	359,56	37,3
Alt.A14 (+7m)	155,61	285,39	161,22	291,00	25,7
Alt.B14 (+7m)	166,44	298,89	163,66	296,11	25,7
Alt.C14 (+7m)	158,97	290,33	162,34	293,70	25,8
Alt. D14 (+7m)	158,43	285,65	161,08	288,31	25,4

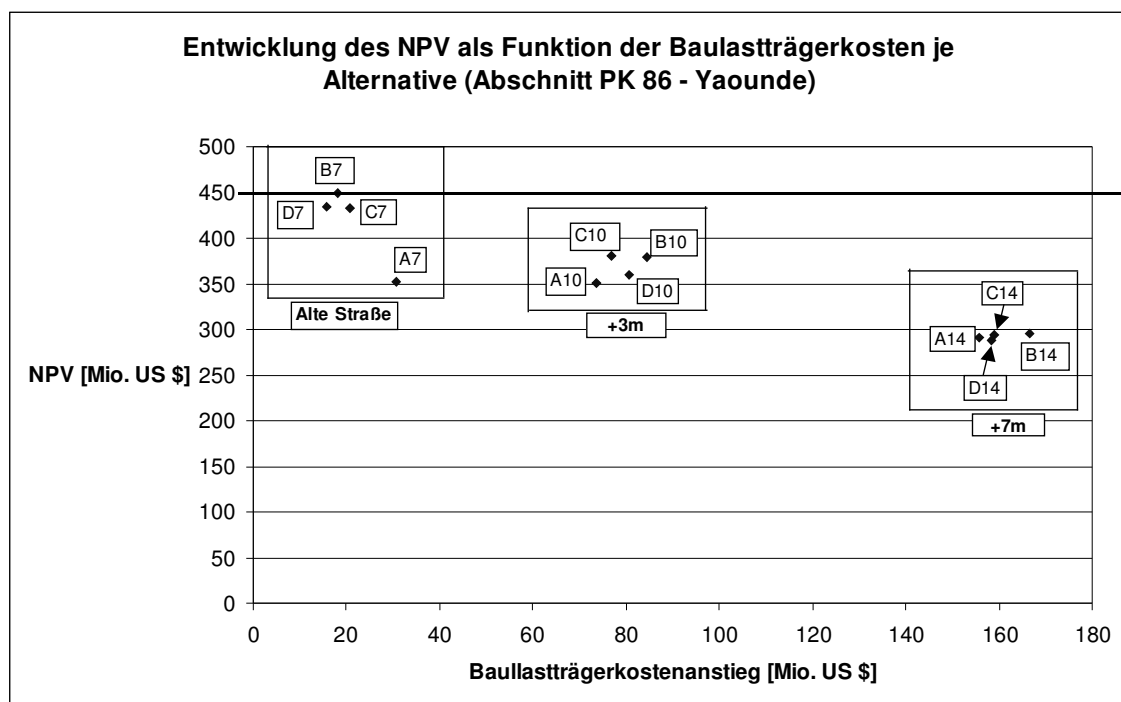


Abbildung 4-20: Nettogegenwartswert als Funktion der Baulasträgerkosten je Alternative des Abschnittes PK86 - Yaounde

Die Tabellen 4-19 und 4-20 und die Abbildungen 4-19 und 4-20 zeigen, dass die Alternative B7 den höchsten Nettogegenwartswert (228,42 Millionen US \$ für den Abschnitt Douala – PK 86 und 448,88 Millionen US \$ für den Abschnitt PK 86 - Yaounde) hat.

Die Alternative B10n hat den höheren Gewinn im Vergleich zu allen anderen Alternativen mit den Ausbaumaßnahmen des Straßenabschnittes Douala-PK 86. Die Alternative C10 hat den höchsten Nettogegenwartswert (NPV) aller Ausbaumaßnahmen mit Straßenverbreiterung des Abschnittes PK 86 – Yaounde.

Die Alternative B14n hat den höchsten Nettogegenwartswert (NPV) aller Ausbaumaßnahmen mit der Streifenhinzufügung (7m) des Straßenabschnittes Douala-PK 86 (s. Tabelle 4-19 und Abbildung 4-19). Die Alternative B14 hat den höchsten Gewinn im Vergleich zu allen Ausbaumaßnahmen mit der Streifenhinzufügung des Straßenabschnittes PK 86 – Yaounde (s. Tabelle 4-20 und Abbildung 4-20).

Die Erhaltungsstrategien mit Streifenhinzufügung (7m) haben die höchsten Baulastträgerkosten und außerdem den niedrigsten NPV.

Der Einfluss der Ausbaumaßnahmen mit dem neuen Material auf den Nettogegenwartswert (NPV) ist in der folgenden Abbildung (Abbildung 4-21) dargestellt.

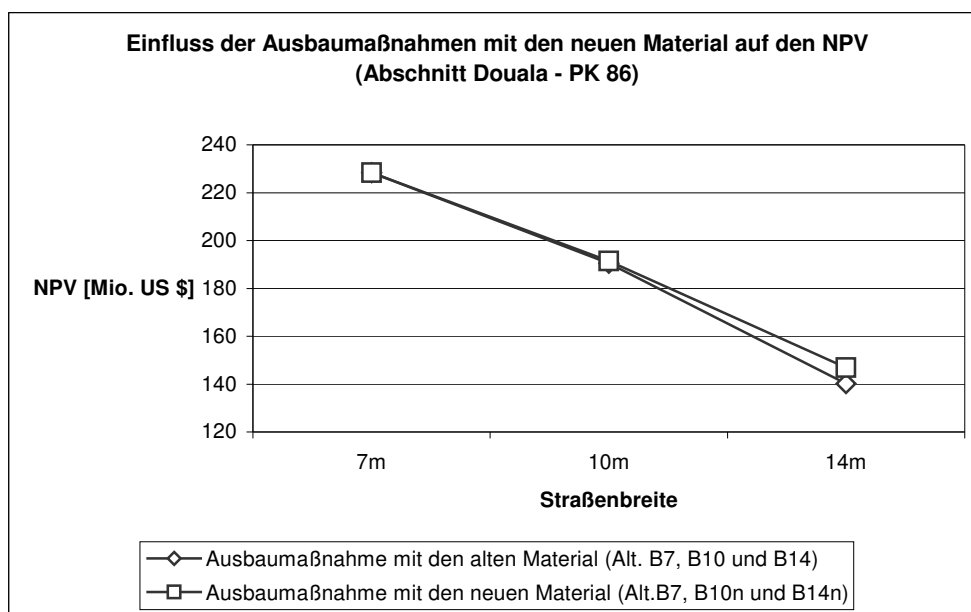


Abbildung 4-21: Einfluss der Ausbaumaßnahmen mit den neuen Material auf den NPV

Bei der Betrachtung der Abbildung 4-21 fällt auf, dass der Straßenausbau mit dem neuen Material kaum Einfluss auf den NPV bei der Verbreiterung um 3m hat. Es hat aber eine große Bedeutung (6,64 Mio. US \$ Unterschied) bei der Streifenhinzufügung (7m). Die Verbreiterung um 3m der Fernstraße Douala – Yaounde mit dem neuen Material ist aus Gründen der Umweltverschmutzung (Materialtransport) nicht zu empfehlen, weil der Gewinnunterschied im Vergleich zum alten Material sehr gering ist (0,98 Mio. US \$). Aber wenn es um Ausbaumaßnahmen mit Streifenhinzufügung (7m) geht, wäre die Verwendung des neuen Materials auf der Strecke Douala – PK 86 empfehlenswert.

Die Alternativen mit Erhaltungsmaßnahmen PHT2C haben die niedrigsten NPV im Vergleich zu anderen Alternativen der gleichen Kategorie. Der Grund dafür liegt daran, dass es bei diesen Erhaltungsstrategien keine Maßnahmen zur Erneuerung der

Deckschicht gibt. Die Straße wird rekonstruiert, wenn sie bereits in einem sehr schlechten Zustand ist ($IRI \geq 8$). Diese Erhaltungsstrategie ist unwirtschaftlich.

Die Alternative D7 hat den höchsten internen Zinsfuß (166,5%) und den niedrigsten Baulastträgerkostenanstieg (s. Tabelle 4-19 und Tabelle 4-20). Wenn der interne Zinsfuß (IRR) das Wahlkriterium wäre, würde diese Alternative die gewählte Strategie für die Fernstraße Douala – Yaounde sein. Diese Alternative ist aber nicht zu empfehlen, weil die Maßnahmendurchführung (Erneuerung der Deckschicht) mit einem IRI-Wert von 6 (Straße in schlechtem Zustand) stattfindet. Das erhöht die Fahrzeugbetriebskosten und die Reisekosten (s. Tabelle 4-19 und Tabelle 4-20). Der NPV ist bei dieser Alternative kleiner als bei der Alternative B7 (höchster NPV).

Die Alternative B7 ist die beste Strategie der Projektanalyse Rehabilitation Douala – Yaounde. Die verschiedenen Erhaltungs- und Unterhaltungskosten sind in den folgenden Tabellen (Tabelle 4-21 und Tabelle 4-22) zu sehen.

Tabelle 4-21: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative B7 (Abschnitt Douala – PK 86)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006 - 2008	4,12 – 4,72	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	22.200	1.108
2009	5,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	883	110
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	424	30
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	$IRI \geq 5$	9.632.000	602.000
2010 - 2017	2,41 – 4,52	Nichts tun	-	0	
2018	5,02	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.182	147
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		933	66
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	$IRI \geq 5$	9.632.000	602.000
2019 - 2025	2,42 – 4,46	Nichts tun	-	0	
Summe		-		19.289.622	

Tabelle 4-22: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative B7 (Abschnitt PK 86 – Yaounde)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006 - 2008	4,12 – 4,72	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	43.627	2.180
2009	5,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	883	110
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	424	30
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	$IRI \geq 5$	18.928.000	1.183.000
2010 - 2017	2,41 – 4,52	Nichts tun	-	0	
2018	5,02	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.182	147
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		933	66
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	$IRI \geq 5$	18.928.000	1.183.000
2019 - 2025	2,42 – 4,46	Nichts tun	-	0	
Summe		-		37.903.049	

Für die Straßenverbindung Douala – Yaounde entstehen in der Zeitspanne von 20 Jahren bei dieser Alternative Gesamtkosten von 57.192.671 US \$. Der Nettogegenwartswert beträgt 677,3 Millionen US \$ und der interne Zinsfuß 130,3%.

Die Verfallskurve der gewählten Strategie (Alternative B7) ist in der folgenden Abbildung (Abbildung 4-22) zu sehen. (Beschreibung sowie die Eingreifkriterien siehe Tabelle 4-21 und Tabelle 4-22).

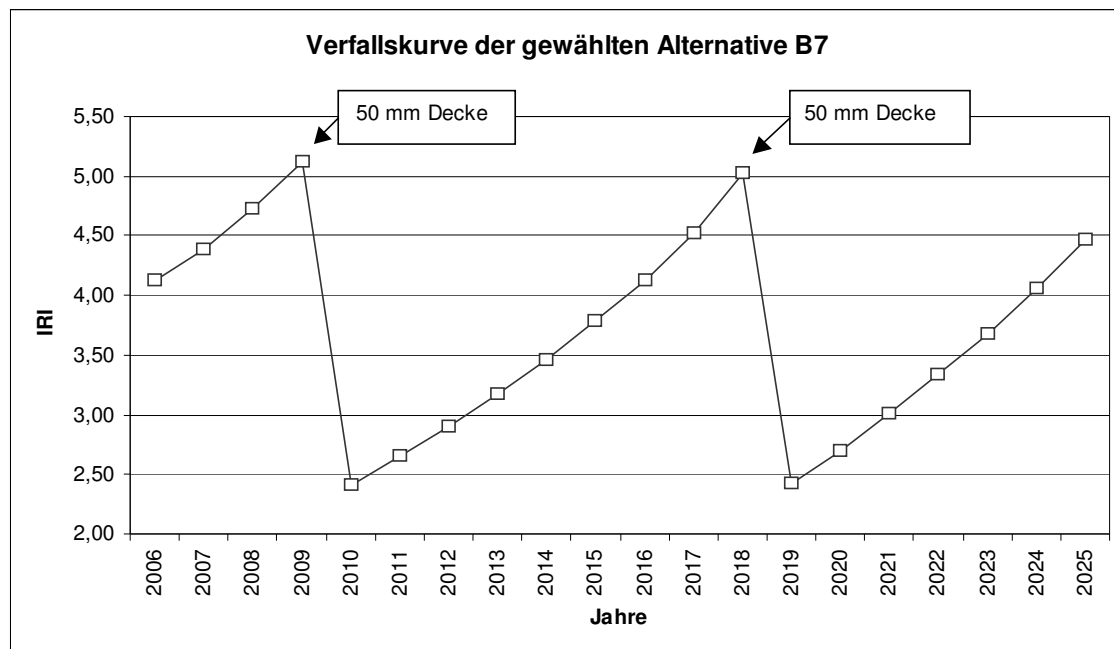


Abbildung 4-22: Verfallskurve der gewählten Alternative B7

4.6.4 Analyse unter Berücksichtigung der Unfallkosten

Jährlich sterben weltweit fast eine Million Menschen bei Verkehrsunfällen. Etwa 86% der Unfälle mit Personenschäden ereignet sich in den Entwicklungsländern, obwohl diese nur rund 40 Prozent aller Kfz besitzen. Während es beispielsweise in Deutschland zu 2,8 Todesfällen pro 10.000 zugelassener Kfz kommt, beträgt die Zahl in Entwicklungs- und Schwellenländern das 10- bis 20-fache, in einigen Fällen, wie in Kamerun (mehr als 60 Todesfälle pro 10.000 zugelassener Kfz), ist sie noch höher [71].

In der Abbildung A2-1 (s. Anlage A2) ist eine Übersicht über die tödlichen Verkehrsunfälle in der Welt aus dem Jahr 1999 dargestellt.

Im HDM-4-Programm gibt es die Möglichkeit, die Unfallkosten zu berücksichtigen. Untersuchungen dafür wurden seit 1995 in einigen Ländern durchgeführt. Die durchschnittliche Unfallrate wird wie folgt definiert [17]:

$$ACCRATE = \frac{ACCYR}{EXPOSURE} \quad (\text{Gleichung 4-2})$$

Mit:

ACCRATE	Unfallrate in [Unfälle / 100 Mio. Fahrzeuge -km]
ACCYR	Zahl der Unfälle pro Jahr
EXPOSURE	Verkehrsbelastung / 10^8

Die „Exposure“ ist in 100 Millionen Fahrzeug - km ausgedrückt und wird wie folgt berechnet:

$$EXPOSSEC = \frac{AADT \cdot 365 \cdot L}{10^8} \quad (\text{Gleichung 4-3})$$

Mit:

EXPOSSEC	„Exposure“ des Straßenabschnittes in 100 Mio. Fahrzeuge
AADT	Durchschnittlicher täglicher Verkehr auf dem Straßenabschnitt in Fahrzeuge / 24 h
L	Straßenabschnittslänge in km

Die Relevanz der Unfallkosten leitet sich aus den entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten durch Unfallfolgen ab [58]. Die Unfallkosten werden personenbezogen mit einem Berechnungsmodell ermittelt, das die Unfallfolgen nach dem Schweregrad der Personenschäden (getötet, schwerverletzt, leichtverletzt) schätzt. Die Sachschäden werden unfallbezogen mit einem Berechnungsmodell ermittelt, das die Sachschadenskosten in Abhängigkeit vom Schweregrad des Unfalls schätzt.

Es werden drei Unfalltypen behandelt: Getötet, Verletzt und Sachschäden.

4.6.4.1 Sensitivitätsanalyse der Fernstraße Douala – Yaounde mit Unfallkosten

Für eine Sensitivitätsanalyse der Wirkung der Unfallkosten auf die Strecke Douala-Yaounde, können die Unfallkosten berücksichtigt werden. Die Werte, die in der Tabelle 4-23 zu sehen sind, sind Schätzwerte basierend auf der Abbildung A2-1 (s. Anlage A2), den kamerunischen Fahrzeugpark (ungefähr 160.000 Kfz), den durchschnittlich jährlich gefahrenen Kilometern (50.000 km) und auf den Defaultwerten des HDM-4-Programms.

Tabelle 4-23: Unfallrate und Unfallkosten

	Unfallrate nach Straßentyp [Anzahl pro 100 Mio. Fahrzeuge – km]			Unfallkosten [1000 US \$ pro Unfallrate]
	Zweistreifige Standardstraße	Breite zweistreifige Straße	Vierstreifige Straße	
Getötet	12	6	2	100
Verletzt	24	8	4	10
Sachschäden	48	16	8	1

Die Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchung mit Unfallkosten ist in den folgenden Tabellen zu sehen. Die Kosten sind in Million US \$ (Diskontsatz: 12%) ausgewiesen.

Tabelle 4-24: Untersuchungen des Abschnittes Douala – PK 86 mit Unfallkosten

Alternative	Baulastträgerkostenanstieg [Mio. US \$]	Einsparung der Straßennutzerkosten [Mio. US \$]			Nettogege- nwartswert (NPV) [Mio. US \$]	Interner Zinsfuß (IRR) [%]
		Fahrzeugbetriebskosten	Reisekosten	Unfallkosten		
Alt.A7	15,64	122,98	71,95	0	179,30	67,7
Alt.B7	9,28	157,24	80,47	0	228,42	130,3
Alt.C7	10,61	150,82	79,87	0	220,09	69,4
Alt.D7	8,06	149,75	79,31	0	221,01	166,5
Alt.E7	10,64	150,82	79,87	0	220,09	69,4
Alt.A10 (+3m)	45,84	134,21	75,27	8,49	172,12	31,7
Alt.A10n (N+3m)	44,18	134,07	75,20	8,49	172,95	32,1
Alt.B10 (+3m)	48,75	158,83	80,41	8,49	198,97	33,4
Alt.B10n (N+3m)	47,72	158,78	80,40	8,49	199,95	33,8
Alt.C10 (+3m)	49,79	151,89	79,85	8,49	190,43	32,3
Alt.C10n (N+3m)	48,76	151,83	79,84	8,49	191,39	32,7
Alt.D10 (+3m)	46,45	147,65	78,63	8,49	188,3	32,8
Alt.D10n (N+3m)	45,42	147,55	78,60	8,49	189,22	33,2
Alt.E10 (+3m)	49,79	151,89	79,85	8,49	190,43	32,3
Alt.E10n (N+3m)	48,76	151,83	79,84	8,49	191,39	32,7
Alt.A14 (+7m)	94,75	139,62	80,83	13,29	138,98	22,4
Alt.A14n (N+7m)	92,11	142,83	81,89	13,29	145,89	23,0
Alt.B14 (+7m)	98,11	154,26	84,10	13,29	153,53	23,1
Alt.B14n (N+7m)	91,96	154,70	84,15	13,29	160,17	23,8
Alt.C14 (+7m)	98,13	151,61	83,96	13,29	150,73	22,8
Alt.C14n (N+7m)	95,13	153,20	84,10	13,29	155,46	23,3
Alt.D14 (+7m)	96,61	149,22	83,25	13,29	149,15	23,0
Alt.D14n (N+7m)	90,39	149,41	83,10	13,29	155,40	23,6
Alt.E14 (+7m)	98,13	151,61	83,96	13,29	150,73	22,8
Alt.E14n (N+7m)	95,13	153,20	84,10	13,29	155,46	23,3

Tabelle 4-25: Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen des Abschnittes PK 86 – Yaounde mit Unfallkosten

Alternative	Baulastträgerkostenanstieg [Mio. US \$]	Einsparung der Straßennutzerkosten [Mio. US \$]			Nettogege- nwartswert (NPV) [Mio. US \$]	Interner Zinsfuß (IRR) [%]
		Fahrzeugbetriebskosten (Einsparung)	Reisekosten (Einsparung)	Unfallkosten (Einsparung)		
Alt.A7	30,72	241,68	141,39	0	352,35	67,7
Alt.B7	18,24	308,99	158,13	0	448,88	130,3
Alt.C7	20,83	296,38	156,96	0	432,51	69,4
Alt.D7	15,83	294,28	155,86	0	434,31	166,5
Alt.A10 (+3m)	73,68	272,34	151,45	13,25	363,36	38,2
Alt.B10 (+3m)	84,36	306,21	157,78	13,25	392,89	39,2
Alt.C10 (+3m)	76,86	300,46	157,56	13,25	394,41	38,7
Alt.D10 (+3m)	80,74	285,92	154,37	13,25	372,81	38,5
Alt.A14 (+7m)	155,61	285,39	161,22	20,75	311,75	26,7
Alt.B14 (+7m)	166,44	298,89	163,66	20,75	316,86	26,7
Alt.C14 (+7m)	158,97	290,33	162,34	20,75	314,45	26,8
Alt.D14 (+7m)	158,43	285,65	161,08	20,75	309,06	26,5

Bei der Auswertung werden die alternativen Strategien mit der Basisoption verglichen, um einen Nutzen (Gewinn) jeder Alternative gegenüber der Basisoption zu bestimmen. Für die Alternativen A7, B7, C7, D7 und E7 bleibt die Straßenbreite 7m wie für die

Basisoption; deswegen ist die Einsparung der Unfallkosten bei diesen Alternativen Null. Der Straßenzustand hat keinen Einfluss auf die Einsparung der Unfallkosten, sondern auf die Einsparung von Reisekosten und Fahrzeugbetriebskosten.

Beim Betrachten der Tabellen (Tabelle 4-19, Tabelle 4-20, Tabelle 4-24 und Tabelle 4-25) fällt auf, dass die Analyse mit Berücksichtigung der Unfallkosten den besseren Nettogegenwartswert und den besseren Internen Zinsfuß hat. Der Grund dafür liegt darin, dass die Reduzierung der Unfallkosten durch die Straßenverbreiterung oder die Streifenhinzufügung eine Einsparung der Unfallkosten verursacht, und somit der Erhöhung der Einsparung der Straßennutzerkosten und des Nettogegenwartswerts (s. Gleichung 3-28). Diese Erhöhung ist von der Straßenbreite abhängig. Je breiter die Straße ist, desto weniger Unfälle gibt es, und somit verringern sich die Straßennutzerkosten. Die Entwicklung der Einsparung der Unfallkosten als Funktion der Straßenbreite ist in der Abbildung 4-23 dargestellt. Die Alternativen mit der Streifenhinzufügung (+7m) führen zur höchsten Erhöhung der Einsparung der Unfallkosten. Die Unfallkosten sind von der Straßenlänge abhängig. Deswegen ist die Einsparung des Abschnittes Douala – PK 86 (86 km) geringer als die Einsparung des Abschnittes PK 86 – Yaounde (169 km).

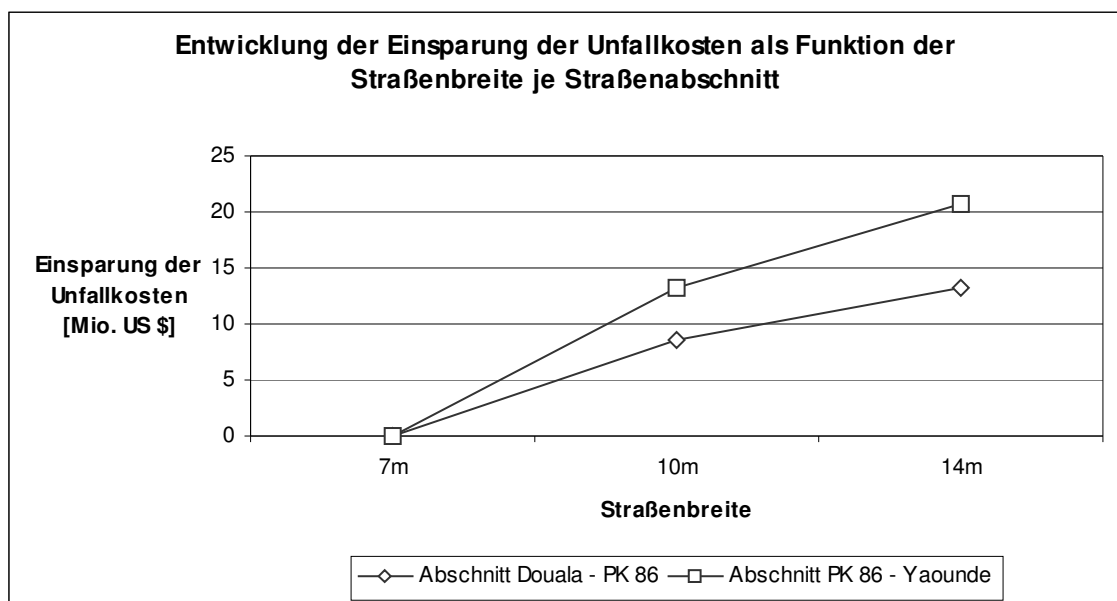


Abbildung 4-23: Entwicklung der Einsparung der Unfallkosten als Funktion der Straßenbreite

Auf Grund der Berücksichtigung der Unfallkosten in der einen Analyse und der Nichtberücksichtigung dieser Kosten in der anderen ist ein direkter Vergleich beider Analysen nicht möglich.

Beim Betrachten der Tabelle 4-24 und der Tabelle 4-25 fällt auf, dass die Alternative B7 den höheren Nettogegenwartswert für beide Abschnitte hat; sie ist somit die beste Strategie für die Projektanalyse Rehabilitation Douala – Yaounde mit Unfallkosten.

Obwohl die Einsparung der Unfallkosten zur Erhöhung der Nettogegenwartswerte der Alternativen mit Streifenhinzufügung (7m) führt, haben diese Alternativen den niedrigsten NPV nach der Analyse mit Unfallkosten. Diese Alternativen sind aus wirtschaftlichen Gründen als Ausbaustrategie der Straßenverbindung Douala – Yaounde nicht zu empfehlen.

4.6.5 Zusammenfassung

Die wesentlichen Erkenntnisse dieser Untersuchung bestehen darin, dass mit Hilfe des HDM-4-Programms eine Optimierung in der Straßenerhaltung unter gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten ermöglicht wird. Demnach gilt nicht die preiswerteste Alternative als passende Erhaltungsmaßnahme, sondern diejenige Alternative, die in einem Untersuchungszeitraum einen möglichst hohen Nettogegenwartswert hat. In der Entscheidung über die optimale Erhaltungsstrategie werden nicht nur die Erhaltungskosten, sondern auch die Fahrzeugbetriebskosten, die Reisezeitkosten und ggf. die Unfallkosten berücksichtigt. So werden für die Fernstraße Douala - Yaounde die Instandsetzungsmaßnahmen der Alternative B7 als wirtschaftlich beste Lösung ermittelt. Die Eingreifkriterien müssen gewissenhaft respektiert werden, weil die Verspätung der Straßenerhaltung zur Erhöhung der Bauträgerkosten und zur Reduzierung der Einsparung der Straßennutzerkosten (Reisezeitkosten und Fahrzeugbetriebskosten), und somit der Reduzierung des Nettogegenwartswerts führt. Deswegen sind die Alternativen A7, A10, A10n, A14, A14n, D7, D10, D10n, D14 und D14n nicht zu empfehlen.

Die Analyse mit Berücksichtigung der Unfallkosten zeigt, dass die Unfallkosten durch die Straßenverbreiterung oder die Streifenhinzufügung reduziert werden können. Die Alternative B10n (beste Lösung mit Ausbaumaßnahme für der Abschnitt Douala – PK86): kann auch durchgeführt werden. Damit hat man die Möglichkeit, die Unfallkosten zu reduzieren.

Die Alternativen A14, A14n, B14, B14, C14, C14n, D14, D14n E14 und E14n (Streifenhinzufügung, 7m) sind unwirtschaftlich für die Fernstraße Douala – Yaounde, da die Baulastträgerkosten sehr hoch sind, und sie den niedrigsten Nettogegenwartswert (NPV) und den niedrigsten internen Zinsfuß (IRR) haben.

Zur Schonung der Umwelt und aus Kostengründen wird die Verwendung des neues Material nur bis zu einer Entfernung von 86 km (Douala – PK 86) empfohlen.

Die Alternative B7 bleibt die beste Strategie der Projektanalyse Rehabilitation Douala – Yaounde. Bei dieser Alternative ist die Entwicklung der Straßennutzerkosten (RUC) je Fahrzeugtyp von 2006 bis 2025 in der folgenden Abbildung (Abbildung 4-24) zu sehen.

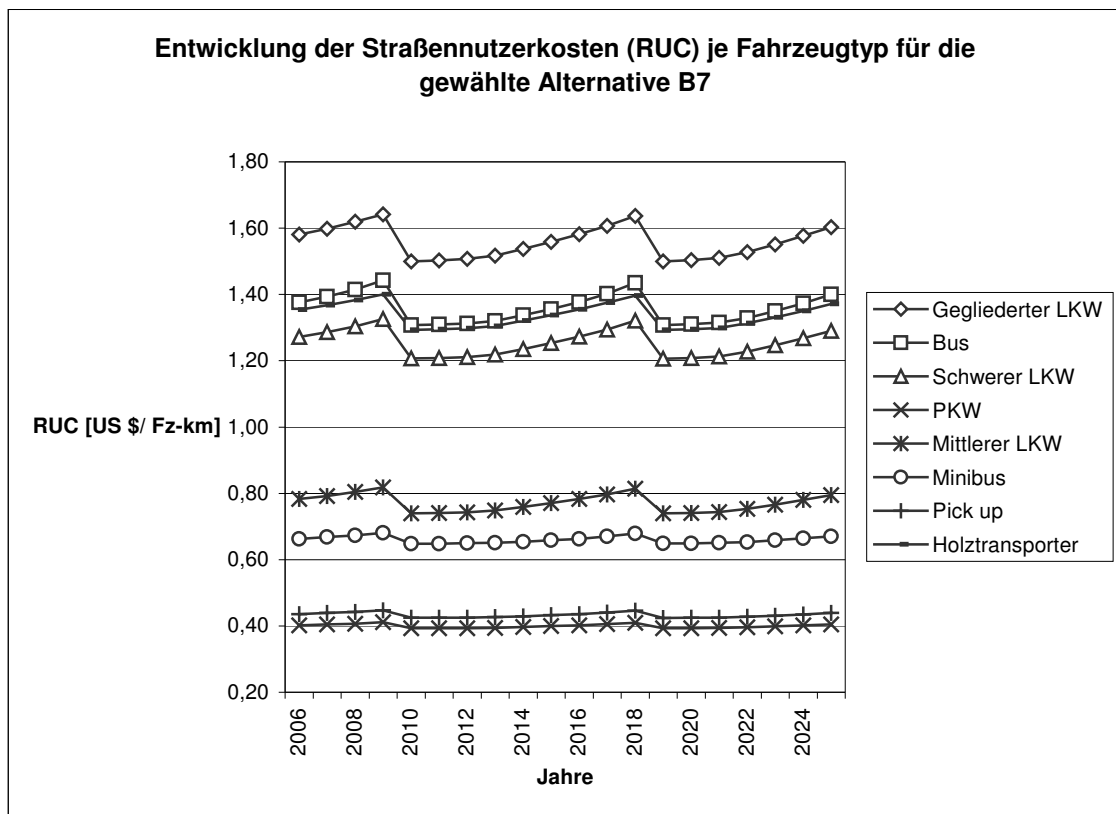


Abbildung 4-24: Entwicklung der Straßennutzerkosten je Fahrzeugtyp für die gewählte Alternative B7

Schließlich kann gesagt werden, dass die Anwendung des HDM-4-Programms die Entscheidung über eine geeignete Erhaltungs- und Verbesserungsstrategie wesentlich erleichtern kann. Die Eingabedaten sollen dabei im Vorfeld so genau wie möglich ermittelt werden. Die Projektanalyse Douala – Yaounde kann der Vorbereitung eines „Projektanalyse-Systems“ für alle asphaltierten Nationalen Strecken Kameruns dienen und zu der Entwicklung eines *Pavement-Management-System*, basierend auf der folgenden Strategieanalyse (s. Kapitel 5), führen.

5 Auswirkungen unterschiedlicher Erhaltungsstrategien

5.1 Allgemeines Konzept der Strategieberleanalyse

Das Konzept der Strategieberleanalyse erfordert, dass eine Straßenbehörde den Zustand und den Unterhaltungsbedarf ihres gesamten Straßennetzes ständig beobachtet. Die Strategieberleanalyse plant das Teil- oder Gesamtnetz einer Straßenverwaltung. Beispiele für Straßennetze sind das Stammstraßennetz oder das städtische Straßennetz. Beispiele für Teilnetze sind alle Schnellstraßen oder nichtasphaltierten Straßen. Es ist möglich, einzelne Straßenabschnitte in der Strategieberleanalyseenwendung zu modellieren. Die Straßennetzmatrix kann von den Benutzern definiert werden, um die wichtigsten Faktoren darzustellen, die die Transportkosten im Land beeinflussen. Eine typische Straßennetzmatrix kann nach folgenden Kriterien kategorisiert werden:

- Verkehrsaufkommen
- Art des Oberbaus
- Zustand des Oberbaus
- Klimatische Zonen
- Funktionsklassifikation, zum Beispiel drei Verkehrskategorien (Hoch, Mittel, Niedrig), zwei Arten von Oberbau (Asphaltbeton, ungebundener Oberbau) und vier Zustandsniveaus (gut, angemessen, schlecht, sehr schlecht). In diesem Fall wird angenommen, dass das Klima während des Betrachtungszeitraums ähnlich bleibt.

Die Strategieberleanalyse kann verwendet werden, um ein gewähltes Netz als Ganzes zu analysieren oder Mittel zu den Planungsausgabenschätzungen unter unterschiedlichen Budgets vorzubereiten. Schätzungen werden für mittel- bis langfristige Perioden von normalerweise 5-40 Jahren bestimmt. Typische Anwendungen der Strategieberleanalyse umfassen:

- Mittel- bis langfristige Prognosen der Finanzierungsanforderungen für die Wartungsstandards einer spezifischen Straße
- Optimale Verteilung der Aufwendungen entsprechend definiertem Budget; z.B. laufende Unterhaltung, periodische Wartung und Budget der Straßenentwicklung
- Optimale Verteilungen des Kapitals auf die Teilnetze; z. B. durch Funktionsstraßenkategorie (Hauptstraßen und städtische Straßen) oder durch administrative Regeln
- Prognosen des langfristigen Zustandes bei unterschiedlichen Niveaus der Finanzierung

Diese letzte Strategievariante wird im Rahmen dieser Arbeit am Beispiel des Entwicklungslandes Kamerun analysiert.

5.2 Prognose des langfristigen Zustandes des kamerunischen Prioritätsnetzes

Für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im HDM-4-Programm reichen für die Strategieanalyse allgemeine statistische Daten (*high level data*) aus. Das Verfahren für die Strategieanalyse gliedert sich wie folgt:

1. Eingabe der grundlegenden Daten für die Analyse
2. Definieren des Netzes und der Kategorisierungsparameter (s. Tabelle 5-1)
3. Auswahl der Fahrzeugflotte (s. Tabelle 4-3 und Tabelle 5-2)
4. Definieren der Verkehrseigenschaften (Fahrzeugtechnische Daten, Fahrzeugbetriebskosten und prozentueller Anteil jeden Fahrzeugtyps an der gesamten Verkehrsbelastung) für ausgewählte Abschnitte (s. Tabellen. 4-4, 4-5, und Tabelle 5-2)
5. Definieren der Unterhaltungs- und Verbesserungsstandards für ausgewählte Abschnitte (s. Tabelle 4-14, Tabelle 5-3 bis Tabelle 5-6)
6. Budgetbegrenzungen
7. Projektanalysen (*Lebenszyklusanalyse*) für jeden Repräsentativabschnitt mit gegebenen Unterhaltungs- und Verbesserungsstandards
8. Ökonomische Analysen und Output der Resultate

5.2.1 Strategieanalyse ohne Budgetbegrenzung

Zu Beginn der Strategieanalyse müssen die allgemeinen Daten (*General*) eingetragen werden (siehe Abbildung 5-1). Nach einer kurzen Beschreibung der Strategie (*Study description*) und der Wahl der Optimierungsmethode (Gewinnmaximierung: *Maximise NPV*) erfolgt die Angabe des Jahres, ab dem die Analyse beginnen soll (*Start year*), sowie der Dauer des Analysezeitraumes (*Duration*). In diesem Fall steht das Jahr 2006 als Zeitpunkt für den Analysebeginn fest und die Betrachtungsperiode ist auf 20 Jahre festgelegt.

Abbildung 5-1: Strategiedefinition

Mittels eines *Dropdown-Menüs* wählt man das zugehörige Straßennetz *Cameroon Priority Road Network* und die repräsentative Fahrzeugflotte *Cameroon National Vehicle Characteristics*. Außerdem wird noch für die Währung (*currencies*) der US Dollar ausgewählt und der Diskontsatz 12% eingetragen.

Im Rahmen dieser Strategieanalyse, werden alle Einheitskosten ohne Mehrwertsteuer, die resultierenden Baukosten unter Einbeziehung der Mehrwertsteuer von 18,7 % angegeben. Der Baulastträgerkostenanstieg, die Einsparung der Straßennutzerkosten, der Nettogegenwartswert und der interne Zinsfuß werden unter Berücksichtigung des Diskontsatzes angegeben.

Das Straßennetz wird als mehrere klassifizierte Teilnetze betrachtet. Aus einer Funktionsklassifikation nach Klasse (National, Provinz und Departement), Art des Oberbaus (Asphaltiert und Ungebunden) und Zustandniveau (gut, angemessen, schlecht und sehr schlecht) resultiert eine Straßennetzmatrix von verschiedenen Repräsentativabschnitten (siehe Tabelle 5-1). Es gibt keine asphaltierten Provinz- oder Departementstrecken in gutem Zustand. Die ungebundenen Provinz- und Departement-Straßen haben die gleiche Verkehrsbelastung, sodass nur ein Repräsentativabschnitt für alle ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen berücksichtigt wird. Die Mehrheit der ungebundenen Strecken sind in einem schlechten Zustand. Für die Analyse werden drei Repräsentativabschnitte berücksichtigt, weil es Straßen mit drei verschiedenen Verkehrskategorien gibt: Schwach (*Low Traffic LT*): 175 Fz/Tag, Mittel (*Medium Traffic MT*): 350 Fz/Tag und Hoch (*High Traffic HT*): 525 Fz/Tag). In der folgenden Tabelle steht die Abkürzung NPR für die asphaltierten Nationalen Straßen, PPR für die asphaltierten Provinz- Straßen, DPR für die asphaltierten Departement Straßen, NUR für die ungebundenen Nationalen Straßen und PDUR für die ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen. Für den Straßenzustand gilt GC (*Good Condition*) für einen guten Zustand, FC (*Fair Condition*) für einen

angemessenen Zustand, PC (*Poor Condition*) für einen schlechten Zustand und BC (*Bad Condition*) für einen sehr schlechten Zustand. Die IRI-Werte entsprechend den Defaultwerten des HDM-4-Programms je nach Straßenzustand.

Tabelle 5-1: Repräsentativabschnitte des vorrangigen Straßennetzes Kameruns (Cameroon priority network)

Abschnitts-identität (ID)	Abschnittsname	IRI [m/km]	Abschnitts-länge [km]	Breite der Fahrbahn [m]	Durchschnittlicher motorisierter täglicher Verkehr [Kfz]	Verkehrs- kategorie
NPR GC	Asphaltierte Nationale Straße, guter Zustand	2	29	7,0	3000	HT
NPR FC	Asphaltierte Nationale Straße, angemessener Zustand	4	1.210	7,0	3000	HT
NPR PC	Asphaltierte Nationale Straße, schlechter Zustand	6	707	7,0	3000	HT
NPR BC	Asphaltierte Nationale Straße, sehr schlechter Zustand	8	1.440	7,0	3000	HT
PPR FC	asphaltierte Provinz Straße, angemessener Zustand	4	108,0	7,0	2000	MT
PPR PC	Asphaltierte Provinz Straße, schlechter Zustand	6	140	7,0	2000	MT
PPR BC	Asphaltierte Provinz Straßen, sehr schlechter Zustand	8	538	7,0	2000	MT
DPR FC	Asphaltierte Departement Straße, angemessener Zustand	4	73,0	6,0	750	LT
DPR PC	Asphaltierte Departement Straße, schlechter Zustand	6	11	6,0	750	LT
DPR BC	Asphaltierte Departement Straße, sehr schlechter Zustand	10	291	6,0	750	LT
NUR-1	Ungebundene Nationale Straße- Abschnitt 1	12	2053	6,0	175	LT
NUR-2	Ungebundene Nationale Straße- Abschnitt2	12	544	6,0	350	MT
NUR-3	Ungebundene Nationale Straße- Abschnitt3	12	1181	6,0	525	HT
PDUR	Ungebundene Provinz und Departement Straße	16	5925	6,0	75	LT

Mit: NPR: *National Paved Road* - PPR: *Provincial Paved Road* - DPR: *Departement Paved Road*
 NUR: *National Unpaved Road* – PDUR: *Provincial and Departemental Unpaved Road*
 GC: *Good Condition* – FC: *Fair Condition* – PC: *Poor Condition* – BC: *Bad Condition*

Die berücksichtigten Fahrzeugtypen sind in der Tabelle 5-2 gelistet.

In der Karteikarte *Define Normal Traffic* besteht die Möglichkeit, das normale Verkehrsaufkommen zu definieren und nach Bedarf zu ändern. Durch die Schaltfläche *Edit Section Traffic Details* gelangt man zu der Eingabemaske, wo für jeden

Fahrzeugtyp der prozentuale Anteil an der gesamten Verkehrsbelastung (*Initial Composition*) im Jahr der Datenerhebung registriert wird.

Tabelle 5-2: Prozentualer Anteil jedes Fahrzeugtyps an der gesamten Verkehrsbelastung

	Asphaltierte Nationale Straßen	Ungebundene Nationale Straßen	Asphaltierte Provinz Straßen	Ungebundene Provinz und Departement Straßen	Asphaltierte Departement Straßen
Gegliedeter LKW	4	3	3	2	3
Bus	2	1	0	0	1
Schwerer LKW	3	3	3	2	3
PKW	43	52	41	39	52
Mittlerer LKW	9	12	8	13	12
Minibus	23	14	13	14	14
Pick up	14	14	26	28	14
Holztransporter	2	1	6	2	1

Die Zuwachsrate in jeder Straßenkategorie wird zu 2,5 % angenommen.

Außer bei den Bussen, die auf den asphaltierten und ungebundenen Provinz- Straßen nicht zu finden sind, sind alle Fahrzeugtypen auf allen Abschnitten vertreten. Der größte Anteil an Fahrzeugen für alle Repräsentativabschnitte sind die PKWs.

Als nächster Schritt müssen in der Eingabemaske *Specify Standards Assignment* die Erhaltungsalternativen aus dem Maßnahmenkatalog (*Work Standards*) gewählt werden. Jeder Straßenabschnitt und jede Straßenkategorie hat bestimmte Erhaltungsmethoden und Erhaltungsalternativen, abhängig von der Art des Oberbaus (asphaltiert oder ungebunden) und von der Verkehrsbelastung (hoch, mittel oder schwach). Weil die Erhaltungsmaßnahme PHT6C von der Verfügbarkeit der Baustoffe Puzzolan und toniger Sand abhängt (s. Kap. 4), werden außer dieser Erhaltungsmaßnahme im Rahmen dieser Strategieanalyse alle vordefinierten und definierten Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen (s. Tabelle 4-14 und Tabelle 5-4) angewendet. Die Zusammensetzung der Erhaltungsalternativen sowie der Erhaltungsmaßnahmen sind in Tabelle 5-3, Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6 zu sehen.

Die laufende Unterhaltung der asphaltierten Straßen: Verfüllen von Schlaglöchern und Oberflächenbehandlung einzelner Schadstellen (PHT1C, PMT1C oder PLT1C) ist in den Alternativen 1 bis 4 für alle Repräsentativabschnitte berücksichtigt, jedoch nicht explizit in der Tabelle 5-3 genannt.

Die Beschreibung, die Eingreifkriterien sowie die Einheitskosten der Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen sind in den Tabellen 4-12 und 4-14 zu sehen.

Tabelle 5-3: Zusammenfassung der Erhaltungsstrategien der asphaltierten Straßen

Repräsentativabschnitt	Erhaltungsalternativen	Erhaltungsmaßnahmen	Grenzwert des IRI	
			Erneuerung der Deckschicht	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes
Asphaltierte Nationale Straßen (NPR)	Basisoption	PHT1C	-	-
	Alternative PN1	PHT3C	5,0	8,0
	Alternative PN2	PHT4C	5,0	8,0
	Alternative PN3	PHT2C	-	8,0
	Alternative PN4	PHT5C	6,0	9,0
Asphaltierte Provinz Straße (PPR)	Basisoption	PMT1C	-	-
	Alternative PP1	PMT3C	5,5	9,0
	Alternative PP2	PMT4C	5,5	9,0
	Alternative PP3	PMT2C	-	9,0
	Alternative PP4	PMT5C	6,5	10,0
Asphaltierte Departement Straße (DPR)	Basisoption	PLT1C	-	-
	Alternative PD1	PLT3C	6,0	10,0
	Alternative PD2	PLT4C	6,0	10,0
	Alternative PD3	PLT2C	-	10,0
	Alternative PD4	PLT5C	7,0	11,0
Siehe Tabelle 4-14				

Die Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen sowie die Einheitskosten der ungebundenen Straßen sind in der Tabelle 5-4 zusammengestellt. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Einheitskosten der Unterhaltungsmaßnahmen für die ungebundenen Straßen aus dem HDM-4-Programm (Defaultwerte) übernommen, da keine verlässlichen Hinweise auf die kamerunischen Einheitskosten für diesen Straßentyp bekannt sind.

Tabelle 5-4: Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen sowie Einheitskosten der ungebundenen Straßen

Unterhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen	Bedeutung	Einheitskosten [US \$]
<i>Grading</i>	ungebundene Straßenoberfläche eibnen	120 US \$/ km(*)
<i>Spot regravelling</i>	lokale Wiederherstellung	12 US \$/ m³(*)
<i>Regravelling (oder Gravel resurfacing)</i>	Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche	25 US \$/ m³(*)

(*): Defaultwerte: vorgegebene Werte des HDM-4-Programms [17]

Die ungebundenen Nationalen Straßen haben eine Kiesdeckschicht von 150mm und die ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen von 100mm. Um bessere Erhaltungsstrategien für die ungebundenen Strecken zu finden, werden im Rahmen dieser Untersuchung mehrere Erhaltungsstrategien (10 für die Nationalen und 6 für die Provinz- und Departement- Straßen) abhängig von der Entwicklung der Deckschicht angewendet.

Neben der sogenannten Basisoption, die lediglich grundlegende Routinemaßnahmen umfasst, werden in dieser Untersuchung weitere Alternativen berücksichtigt (s. Tabelle 5-5, und Tabelle 5-6).

Außer bei den Erhaltungsmaßnahmen der Alternativen UN1, UN10 und UPD1 (vordefinierte Maßnahmen) sind alle einzelnen Unterhaltungsmaßnahmen der ungebundenen Straßen sowie die Eingreifkriterien selbst definiert, um die Wirtschaftlichkeit einer frühzeitigen oder einer verspäteten Wiederherstellung der Kiesdeckschicht der ungebundenen Straßen zu überprüfen.

Die Definition einzelner Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen der ungebundenen Straßen sind im Kapitel 3.5 dargestellt.

Tabelle 5-5: Zusammenfassung der Erhaltungsstrategien der ungebundenen Nationalen Straßen

Erhaltungsalternativen	Abkürzungen	Erhaltungsmaßnahmen und Eingreifkriterien
Basisoption: <i>Grading 1/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M1	M0: lokale Wiederherstellung einmal pro Jahr M1: ungebundene Straßenoberfläche einebnen einmal pro Jahr
Alternative UN1 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M2	M0, M2: ungebundene Straßenoberfläche einebnen zweimal pro Jahr
Alternative UN2 : <i>Grading 4/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M4	M0, M4: ungebundene Straßenoberfläche einebnen viermal pro Jahr
Alternative UN3 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 130 mm</i>	M0+M2+M(20)	M0, M2, M(20) M(20): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 20 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 130 mm)
Alternative UN4 : <i>Grading 4/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 130 mm</i>	M0+M4+M(20)	M0, M4, M(20)
Alternative UN5 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 110 mm</i>	M0+M2+M(40)	M0, M2, M(40) M(40): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 40 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 110 mm)
Alternative UN6 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 90 mm</i>	M0+M2+M(60)	M0, M2, M(60) M(60): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 60 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 90 mm)
Alternative UN7 : <i>Grading 4/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 90 mm</i>	M0+M4 +M(60)	M0, M4, M(60)
Alternative UN8 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 70 mm</i>	M0+M2+M(80)	M0, M2 M(80): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 80 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 70 mm)
Alternative UN9 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 50 mm</i>	M0+M2+M(100)	M0, M2 M(100): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 100 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 50 mm)
Alternative UN10 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 30 mm</i>	M0+M2+M(120)	M0, M2 M(120): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 120 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 30 mm)

Tabelle 5-6: Zusammenfassung der Erhaltungsstrategien der ungebundenen Provinz und Departement Straßen

Erhaltungsalternativen	Abkürzungen	Erhaltungsmaßnahmen und Eingreifkriterien
Basisoption: <i>Grading 1/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M1	M0, M1
Alternative UPD1 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M2	M0, M2
Alternative UPD2 : <i>Grading 3/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M3	M0, M3: ungebundene Straßenoberfläche eineben dreimal pro Jahr
Alternative UPD3 : <i>Grading 4/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	M0+M4	M0, M4
Alternative UPD4 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 70 mm</i>	M0+M2+M(30)	M0, M2 M(30): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 30 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 70 mm)
Alternative UPD5 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 40 mm</i>	M0+M2+M(60)	M0, M2 M(60): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 60 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 40 mm)
Alternative UPD6 : <i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 10 mm</i>	M0+M2+M(90)	M0, M2 M(90): Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche falls der Verlust der Deckschichtdicke ≥ 90 mm (Deckschichtrestdicke ≤ 10 mm)

Bei der späteren Auswertung werden die alternativen Strategien mit der Basisoption verglichen, um den Nutzen (Gewinn) jeder Erhaltungsalternative gegenüber der Basisoption zu bestimmen.

Unter *Perform Run* kann die Strategieanalyse für das *Cameroon Priority Network* über 20 Jahre mit 8 Fahrzeugtypen, auf 14 Straßenabschnitten und mit 91 Alternativen durchgeführt werden. Die Ausgabe der berechneten Daten erfolgt in Form von mehreren Reports, die unter *Generate Reports* aufgerufen und analysiert werden. Die Ergebnisse werden getrennt für die Entwicklung des Verkehrs, die Längsunebenheit und die wirtschaftlichen Untersuchungen dargestellt.

Entwicklung des Verkehrs

Die Zuwachsrate des Verkehrs ist entsprechend der Annahme einer Verkehrssteigerung um 2,5 % für alle Straßenkategorien konstant.

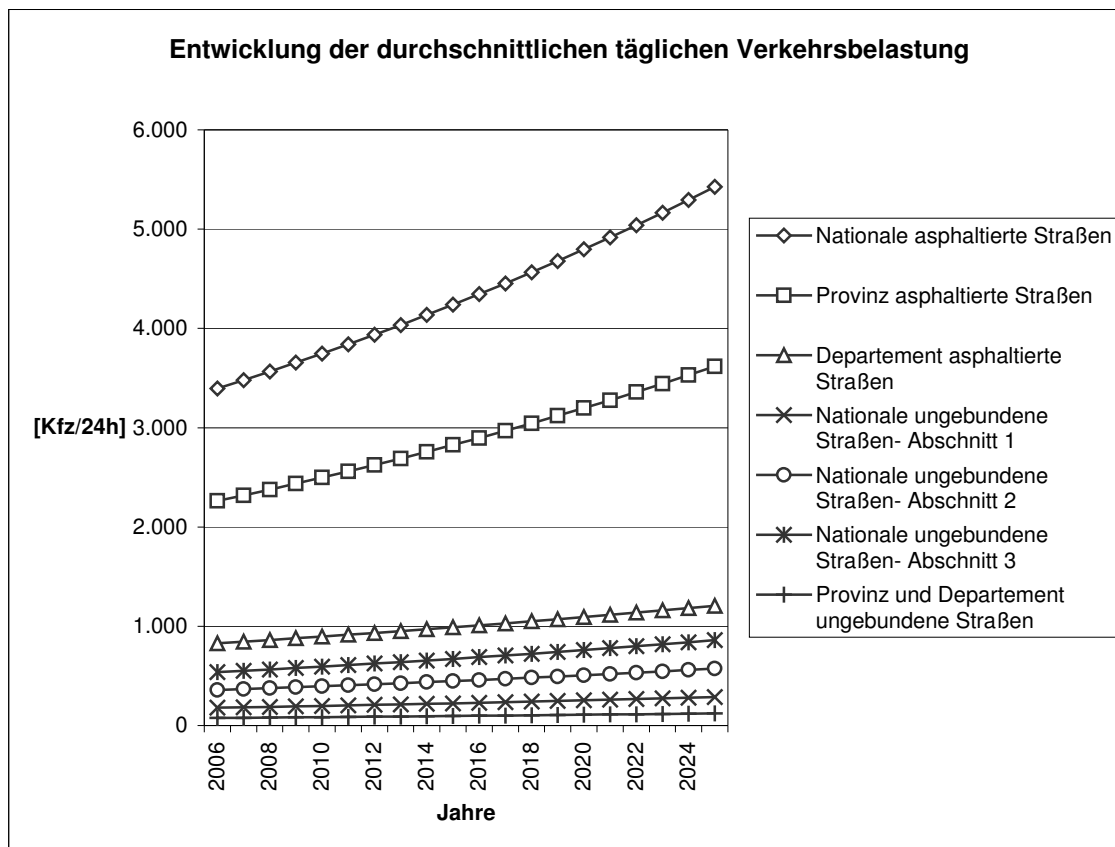


Abbildung 5-2: Entwicklung des Verkehrsaufkommens zwischen 2006 und 2025

Längsunebenheit

Die verschiedenen Kurven der Entwicklung der Längsunebenheit je Unterhaltungsstrategie aller Straßenabschnitte sowie die Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten sind in der Anlage A3.0 abgelegt.

Das Beispiel des Repräsentativabschnitts NPRBC ist in der Abbildung 5-3 dargestellt.

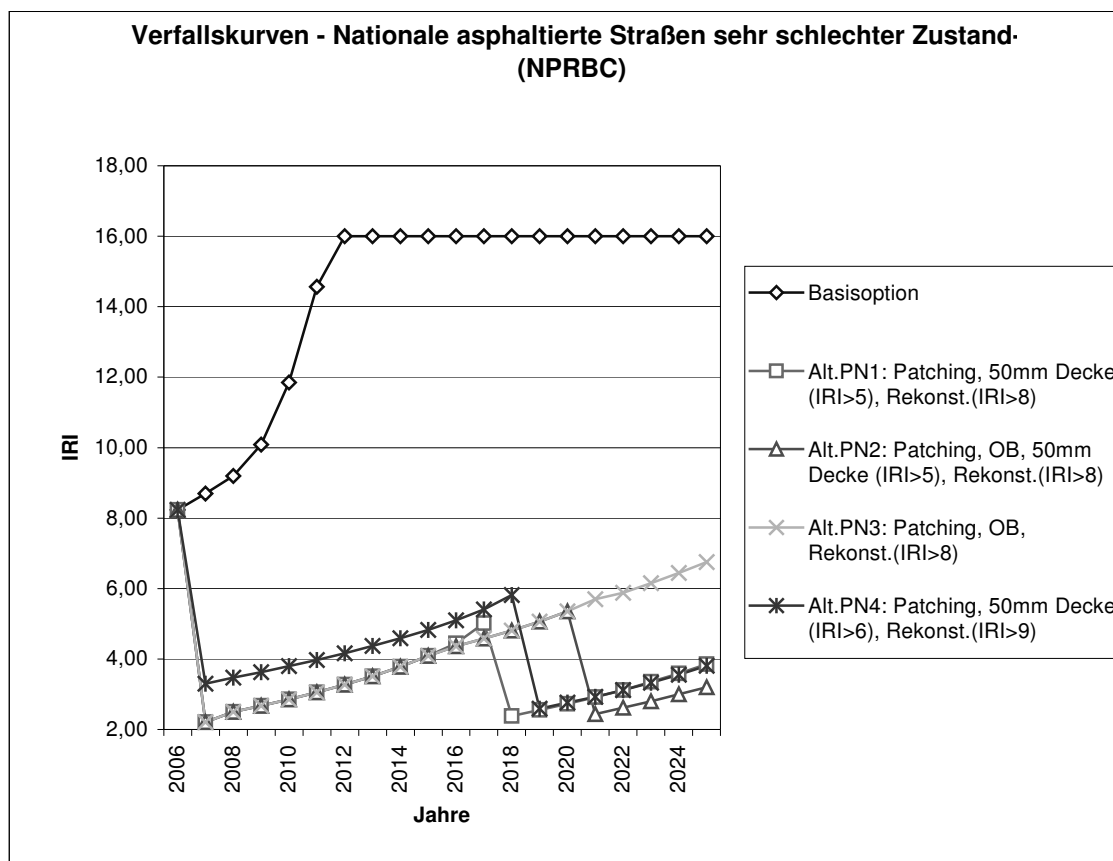


Abbildung 5-3: Verfallskurven: Nationale asphaltierte Straßen sehr schlechter Zustand (NPRBC)

Bei der Betrachtung der Abbildung 5-3 fällt auf, dass nach der Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen (wenn die Eingreifkriterien erreicht sind): Oberflächenbehandlung, Erneuerung der Deckschicht oder Erneuerung des Befestigungspaketes bei den drei Alternativen PN1, PN2, PN3 und PN4 der IRI-Wert sinkt. Für die Basisoption steigt der IRI-Wert bis 2014 auf den maximalen Wert von 16 an. Die Straße ist unbefahrbar und dieser Wert bleibt konstant bis zum Analyseende im Jahr 2025. In der Tabelle 5-7 ist die Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten des Repräsentativabschnitts NPRBC dargestellt. Die folgenden Abkürzungen werden in den Tabellen für die Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen der asphaltierten Straßen angewendet:

Abkürzung	Bedeutung
A0	Nichts tun
A1	Verfüllung von Schlaglöchern (<i>Patching</i>)
A2	Oberflächenbehandlung (OB)
A3	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm
A4	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (Rekonst.)

Tabelle 5-7: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen NPRBC

Jahr	Basisoption	Alternative NP1	Alternative NP2	Alternative NP3	Alternative NP4
2006	8,23: A0	8,23: A4	8,23: A4	8,23: A4	8,23: A3
2007	8,70: A1	2,21: A0	2,21: A0	2,21: A0	3,30: A0
2008 - 2011	9,20 – 14,54: A1	2,50 – 3,05: A0	2,50 – 3,05: A0	2,50 – 3,05: A0	3,47 – 3,97: A0
2012 - 2014	16,00: A0	3,27 – 3,78: A0	3,27 – 3,78: A0	3,27 – 3,78: A0	4,16 – 4,59: A0
2015	16,00: A0	4,09: A0	4,09: A0	4,09: A2	4,83: A0
2016	16,00: A0	4,44: A0	4,36: A2	4,36: A0	5,10: A0
2017	16,00: A0	5,02: A3	4,58: A0	4,58: A0	5,41: A1
2018	16,00: A0	2,38: A0	4,81: A0	4,81: A0	5,82: A3
2019	16,00: A0	2,55: A0	5,06: A0	5,06: A0	2,59: A0
2020	16,00: A0	2,73: A0	5,35: A3	5,35: A0	2,76: A0
2021	16,00: A0	2,92: A0	2,44: A0	5,70: A2	2,93: A0
2022	16,00: A0	3,12: A0	2,62: A0	5,88: A0	3,12: A0
2023 - 2025	16,00: A0	3,35 – 3,85: A0	2,80 – 3,20: A0	6,15 – 6,75: A0	3,33 – 3,81: A0
Gesamtkosten [US \$]	900.673	1.512.002.760	1.592.641.646	1.481.761.817	383.047.404

Nach der Unterhaltungsmaßnahme *Regravelling* wird der Sollwert des IRI auf den ungebundenen Nationalen Straßen im Rahmen dieser Arbeit auf 4 und auf ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen auf 6 festgelegt (vgl. Kap. 3.5). Damit bleibt die Straße in sehr gutem Zustand. Nach dieser Erhaltungsmaßnahme ist die Kiesdeckschicht von gleicher Qualität wie nach dem Bau der Straße.

Für eine bessere Darstellung der einzelnen Erhaltungsstrategien für die ungebundenen Nationalen Straßen in Kamerun werden die Ergebnisse in sechs Diagrammen (jeweils zwei Diagramme für jeden Abschnitt) dargestellt.

Die folgenden Abkürzungen werden in den Tabellen für die Unterhaltungsmaßnahmen der ungebundenen Straßen verwendet.

Abkürzung	Bedeutung
M0	<i>Spot regravelling</i> : Lokale Wiederherstellung der Straßen Oberfläche
MX	<i>X*Grading</i> : Einebnen der Straßenoberfläche Xmal
M(Y)	<i>Regravelling</i> : Wiederherstellung der Straßenoberfläche der ungebundenen Nationalen Straßen falls der Verlust der Deckschichtdicke $\geq Y$ mm (Deckschichtrestdicke $\leq 150 - Y$ mm)
MD(Y)	<i>Regravelling</i> : Wiederherstellung der Straßenoberfläche der ungebundenen Provinz und Departement Straßen falls der Verlust der Deckschichtdicke $\geq Y$ mm (Deckschichtrestdicke $\leq 100 - Y$ mm)

Die Beispiele der Verfallskurven des Repräsentativabschnitts der ungebundenen Nationalen Straßen (die anderen Diagramme sind in der Anlage A3.0 zu sehen) und der ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen sind in der Abbildung 5-4 und der Abbildung 5-5 dargestellt.

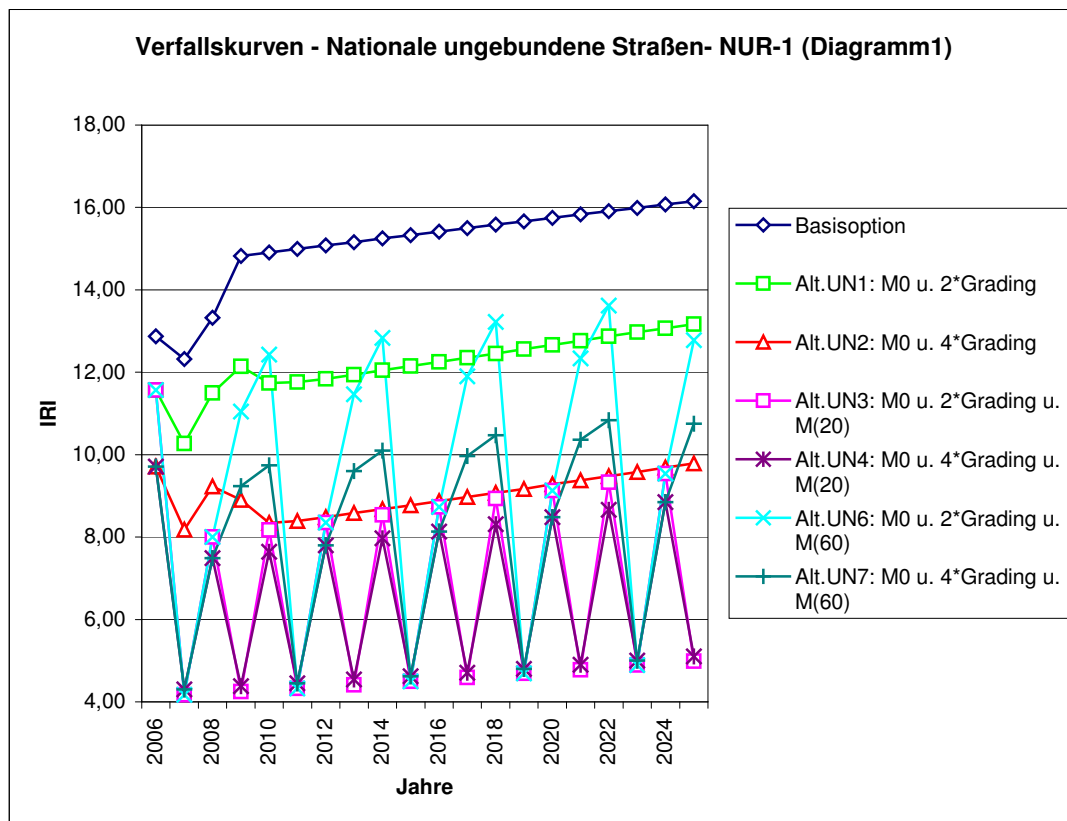


Abbildung 5-4: Verfallskurven: ungebundene Nationale Straßen (NUR-1 - Diagramm 1)

Am Anfang des Analysejahrs ist die Straße in sehr schlechtem Zustand. Deswegen senkt sich der IRI-Wert bei allen Alternativen nach der Erhaltungs- und Unterhaltungsmaßnahmen am Anfang des Analysejahrs. Die Verfallskurven der Alternativen UN1, UN2 und UN3 zeigen, dass die Häufigkeit des *Gradings* (ein, zwei oder drei) einen positiven Effekt auf die Entwicklung der Längsunebenheit hat. Nach der Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen *Regravelling* bei den Alternativen UN3, UN4, UN6 und UN7 senkt sich der IRI-Wert. Der Sollwert nach dieser Erhaltungsmaßnahme ($IRI=4$) ist in den Kurven nicht sichtbar, weil die dargestellten IRI-Werte die mittleren Wert des Analysejahrs darstellen. Betrachtet man die Kurven der Alternativen UN3 und UN6 dann fällt auf, dass je schneller die Erhaltungsmaßnahme *Regravelling* stattfindet, desto besser bleibt der IRI-Wert. Deswegen sollte man versuchen, so schnell wie möglich die Kiesdeckschicht zu erneuern. In der Tabelle 5-8 sind die Erhaltungsaktivitäten der Repräsentativabschnitte der ungebundenen Nationalen Straßen (NUR, Abschnitt 1-Diagramm 1) dargestellt.

Tabelle 5-8: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt 1- Diagramm1)

Jahr	Basisoption	Alt. UN1 IRI: Maßnahme	Alt. UN2 IRI: Maßnahme	Alt. UN3 IRI: Maßnahme	Alt. UN4 IRI: Maßnahme	Alt. UN6 IRI: Maßnahme	Alt. UN7 IRI: Maßnahme
2006	12,87: M0+M1	11,57: M0+M2	9,71: M0+M4	11,57: M2+M(20)	9,71: M4+M(20)	11,57: M2+M(60)	9,71: M4+M(60))
2007	12,32: M0+M1	10,27: M0+M2	8,18: M0+M4	4,17: M0+M2	4,30: M0+M4	4,17: M0+M2	4,30: M0+M4
2008	13,32: M0+M1	11,50: M0+M2	9,23: M0+M4	8,00: M2+M(20)	7,49: M4+M(20)	8,00: M0+M2	7,49: M0+M4
2009	14,82: M0+M1	12,14: M0+M2	8,90: M0+M4:	4,25: M0+M2	4,38: M0+M4	11,05: M0+M2	9,24: M0+M4
2010	14,91: M0+M1	11,74: M0+M2	8,34: M0+M4	8,17: M2+M(20)	7,64: M4+M(20)	12,43: M2+M(60)	9,74: M4+M(60)
2011	14,99: M0+M1	11,76: M0+M2	8,39: M0+M4	4,33: M0+M2	4,45: M0+M4	4,33: M0+M2	4,45: M0+M4
2012	15,08: M0+M1	11,84: M0+M2	8,48: M0+M4:	8,35: M2+M(20)	7,80: M4+M(20)	8,35: M0+M2	7,80: M0+M4
2013	15,16: M0+M1	11,94: M0+M2	8,58: M0+M4	4,41: M0+M2	4,54: M0+M4	11,47: M0+M2	9,60: M0+M4
2014	15,25: M0+M1	12,05: M0+M2	8,68: M0+M4	8,54: M2+M(20)	7,97: M4+M(20)	12,83: M2+M(60)	10,10: M4+M(60)
2015	15,33: M0+M1	12,15: M0+M2	8,77: M0+M4	4,50: M0+M2	4,62: M0+M4	4,50: M0+M2	4,62: M0+M4
2016	15,41: M0+M1	12,25: M0+M2	8,87: M0+M4	8,73: M2+M(20)	8,13: M4+M(20)	8,73: M0+M2	8,13: M0+M4
2017	15,50: M0+M1	12,35: M0+M2	8,97: M0+M4	4,59: M0+M2	4,71: M0+M4	11,90: M0+M2	9,97: M0+M4
2018	15,58: M0+M1	12,45: M0+M2	9,07: M0+M4	8,93: M2+M(20)	8,31: M4+M(20)	13,22: M2+M(60)	10,47: M4+M(60)
2019	15,66: M0+M1	12,56: M0+M2	9,17: M0+M4	4,69: M0+M2	4,80: M0+M4	4,69: M0+M2	4,80: M0+M4
2020	15,75: M0+M1	12,66: M0+M2	9,28: M0+M4	9,13: M2+M(20)	8,48: M4+M(20)	9,13: M0+M2	8,48: M0+M4
2021	15,83: M0+M1	12,76: M0+M2	9,38: M0+M4	4,78: M0+M2	4,90: M0+M4	12,34: M0+M2	10,36: M0+M4
2022	15,91: M0+M1	12,87: M0+M2	9,48: M0+M4	9,33: M2+M(20)	8,66: M0+M(20)	13,62: M2+M(60)	10,84: M4+M(60)
2023	15,99: M0+M1	12,97: M0+M2	9,58: M0+M4	4,89: M0+M2	5,00: M0+M4	4,89: M0+M2	5,00: M0+M4
2024	16,07: M0+M1	13,07: M0+M2	9,69: M0+M4	9,54: M2+M(20)	8,85: M0+M(20)	9,54: M0+M2	8,85: M0+M4
2025	16,15: M0+M1	13,17: M0+M2	9,79: M0+M4	4,99: M0+M2	5,10: M0+M4	12,78: M0+M2	10,75: M0+M4
Gesamt- kosten [US \$]	5.851.040	11.702.100	23.404.200	178.805.007	190.424.987	166.406.485	176.069.272
Kosten/ km	2.850	5.700	11.400	87.095	92.755	81.056	85.762

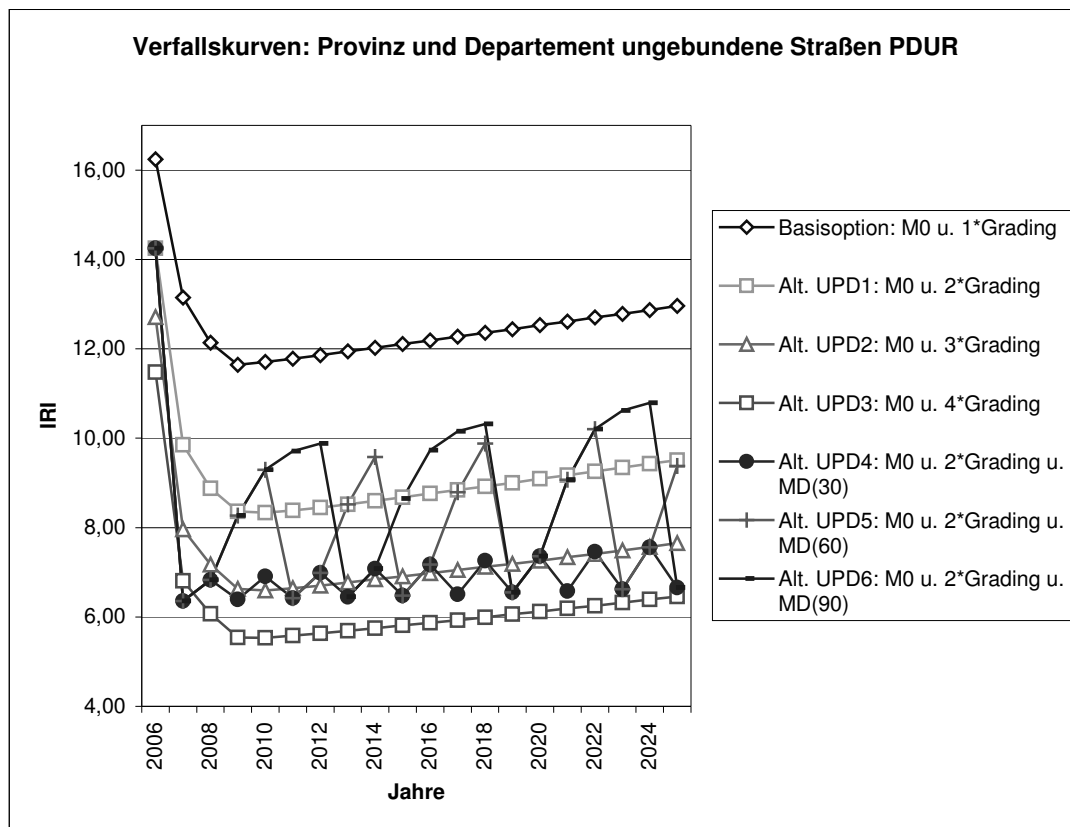


Abbildung 5-5: Verfallskurven: ungebundene Provinz- und Departement- Straßen PDUR

Die Abbildung 5-5 zeigt, dass nach der Unterhaltungsmaßnahme *Grading* und der Erhaltungsmaßnahme *Regravelling* auf den ungebundenen Provinz- und Departement-Straßen der IRI-Wert deutlich sinkt. Die Alternative UPD3 hat zwar den besten IRI-Wert, aber diese Maßnahme berücksichtigt nicht die Kiesdeckschicht. Bei der Alternative UPD4 findet die Erneuerung der Kiesdeckschicht am schnellsten statt, deswegen sind die Werte besser als bei der Alternativen UPD5 und UPD6. Der Sollwert nach dieser Erhaltungsmaßnahme ($IRI=6$) ist auch hier nicht sichtbar. In der Tabelle 5-9 sind die Erhaltungsaktivitäten der Repräsentativabschnitte der ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen dargestellt.

Die ungebundenen Nationalen Straßen (NUR) und die ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen (PDUR) haben unterschiedliche Kiesdeckschichtendicken (150 und 100 mm). Außerdem ist die Verkehrszusammensetzung auf den beiden Strecken unterschiedlich (s. Tabelle 5-2). Deswegen sind die Verfallskurven der beiden Repräsentativabschnitte unterschiedlich.

Tabelle 5-9: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtbaukosten in US \$ der verschiedenen Alternativen (PDUR)

Jahr	Basisoption IRI: Maßnahme	Alt.UPD1 IRI: Maßnahme	Alt.UPD2 IRI: Maßnahme	Alt.UPD3 IRI: Maßnahme	Alt.UPD4 IRI: Maßnahme	Alt.UPD5 IRI: Maßnahme	Alt.UPD6 IRI: Maßnahme
2006	16,25: M0+M1	14,27: M0+M2	12,73: M0+M3	11,50: M0+M4	14,27: M2+MD(30)	14,27: M2+MD(60)	14,27: M2+MD(90)
2007	13,20: M0+M1	9,93: M0+M2	8,05: M0+M3	6,91: M0+M4	6,41: M0+M2	6,41: M0+M2	6,41: M0+M2
2008	12,26: M0+M1	9,05: M0+M2	7,33: M0+M3	6,23: M0+M4	6,96: M2+MD(30)	6,96: M0+M2	6,96: M0+M2
2009	11,83: M0+M1	8,57: M0+M2	6,83: M0+M3	5,71: M0+M4	6,44: M0+M2	8,46: M0+M2	8,46: M0+M2
2010	11,94: M0+M1	8,56: M0+M2	6,80: M0+M3	5,71: M0+M4	7,04: M2+MD(30)	9,52: M2+MD(60)	9,52: M0+M2
2011	12,03: M0+M1	8,62: M0+M2	6,85: M0+M3	5,76: M0+M4	6,47: M0+M2	6,47: M0+M2	9,94: M0+M2
2012	12,12: M0+M1	8,69: M0+M2	6,92: M0+M3	5,82: M0+M4	7,13: M0+MD(30)	7,13: M0+M2	10,11: M2+MD(90)
2013	12,20: M0+M1	8,77: M0+M2	6,99: M0+M3	5,88: M0+M4	6,50: M2+M2	8,73: M0+M2	6,50: M0+M2
2014	12,29: M0+M1	8,85: M0+M2	7,06: M0+M3	5,94: M0+M4	7,22: M2+MD(30)	9,82: M2+MD(60)	6,50: M2+M0
2015	12,37: M0+M1	8,93: M0+M2	7,13: M0+M3	6,00: M0+M4	6,53: M0+M2	6,53: M0+M2	8,87: M0+M2
2016	12,45: M0+M1	9,02: M0+M2	7,20: M0+M3	6,07: M0+M4	7,31: M2+MD(30)	7,31: M0+M2	9,97: M0+M2
2017	12,54: M0+M1	9,10: M0+M2	7,28: M0+M3	6,13: M0+M4	6,57: M0+M2	9,01: M0+M2	10,39: M0+M2
2018	12,62: M0+M1	9,18: M0+M2	7,35: M0+M3	6,20: M0+M4	7,41: M2+MD(30)	10,13: M2+MD(60)	10,56: M2+MD(90)
2019	12,71: M0+M1	9,27: M0+M2	7,43: M0+M3	6,26: M0+M4	6,60: M0+M2	6,60: M0+M2	6,60: M0+M2
2020	12,80: M0+M1	9,35: M0+M2	7,50: M0+M3	6,33: M0+M4	7,52: M2+MD(30)	7,52: M0+M2	7,52: M0+M2
2021	12,88: M0+M1	9,44: M0+M2	7,58: M0+M3	6,40: M0+M4	6,64: M0+M2	9,31: M0+M2	9,31: M0+M2
2022	12,97: M0+M1	9,53: M0+M2	7,66: M0+M3	6,47: M0+M4	7,62: M2+MD(30)	10,46: M2+MD(60)	10,46: M0+M2
2023	13,06: M0+M1	9,62: M0+M2	7,74: M0+M3	6,54: M0+M4	6,68: M0+M2	6,68: M0+M2	10,88: M0+M2
2024	13,14: M0+M1	9,71: M0+M2	7,82: M0+M3	6,62: M0+M4	7,73: M2+MD(30)	7,73: M0+M2	11,05: M2+MD(90)
2025	13,23: M0+M1	9,80: M0+M2	7,90: M0+M3	6,69: M0+M4	6,72: M0+M2	9,63: M0+M2	6,72: M0+M2
Gesamtkosten [US \$]	16.886.240	33.772.500	50.658.740	67.545.000	438.866.561	410.344.372	433.411.068
Kosten/km	2.850	5.700	8.550	11.400	74.071	69.257	73.150

Wirtschaftliche Untersuchungen

In diesem Schritt der Strategieanalyse wird die gewählte Strategiealternative für jeden Repräsentativabschnitt, basierend auf einer Lebenszyklusanalyse, angegeben (s. auch das Unterhaltungs- und Erhaltungsprogramm zwischen 2006 und 2025 in der Anlage A3-1). Die Alternative, die den höchsten Nettogegenwartswert hat, wird für jeden Abschnitt gewählt.

Die Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen je Straßenabschnitt sind in der Anlage A3-4 zu sehen.

In der Tabelle 5-10 sind die optimalen Strategien (höchster NPV) sowie die Gesamtkosten der Straßen- Unterhaltung und Instandsetzung ohne Budgetbegrenzung von 2006 (Analysejahresanfang) bis 2025 (Analysejahrende) zu sehen.

Tabelle 5-10: Optimale Maßnahmenstrategien (höchster NPV) ohne Budgetbegrenzung für die Erhaltung des gesamten Netzes in gutem Zustand

Abschnitt	Länge (in km)	Gewählte Strategie (Höchster NPV)	Jährlicher mittlerer IRI	Gesamtbaukosten ohne Routinemaß- nahmen (in Million US \$)	Gesamtbaukosten mit Routinemaßnahmen (in Million US \$)	Baukosten pro km (in US \$)
NPRGC	29	Alt. PN2	3,20	8,729	8,732	301104
NPRFC	1210	Alt. PN1	3,20	321,860	322,800	266777
NPRPC	707	Alt. PN1	3,32	188,062	188,066	266006
NPRBC	1440	Alt. PN4	3,94	383,040	383,048	266006
PPRFC	108	Alt. PP1	3,58	28,728	28,759	266288
PPRPC	140	Alt. PP1	3,59	37,240	37,255	266108
PPRBC	538	Alt. PP1	3,91	143,108	143,214	266198
DPRFC	73	Alt. PD1	3,94	16,641	16,681	228507
DPRPC	11	Alt. PD1	3,64	2,508	2,518	228910
DPRBC	291	Alt. PD4	4,76	66,348	66,357	228031
NUR-1	2053	Alt. UN4	6,18	167,104	190,425	92755
NUR-2	544	Alt. UN4	6,22	53,646	59,826	109975
NUR-3	1181	Alt. UN4	6,68	132,634	146,049	123666
PDUR	5925	Alt. UPD3	6,15	0,000	67,545	11400
GESAMT	14250	-	-	1549,648	1661,275	-

Das HDM-4-Programm berücksichtigt die Kosten der Routinemaßnahme der laufenden Unterhaltung (Verfüllen von Schlaglöchern und Oberflächenbehandlung einzelner Schädstellen für asphaltierte Straßen und Einebnen der ungebundenen Straßenoberfläche und lokale Wiederherstellung für ungebundene Straßen) bei der Berechnung. Eine Darstellung der laufenden Unterhaltungsmaßnahmen in der Ausgabe des Erhaltungsprogramms findet jedoch nicht statt (s. Tabelle A3-1, Anlage 3.1).

Ungebundene Nationale Straßen

Für die ungebundenen Nationalen Straßen ist die Alternative UN3 als Unterhaltungsmaßnahme zu empfehlen, weil bei der durch das HDM-4-Programm gewählten Alternative UN4 (höchster NPV) die Unterhaltungsmaßnahme „ungebundene Straßenoberfläche Einebnen (*Grading*)“ vier mal jährlich stattfinden soll, was wegen der Zeitverteilung (Regenzeit und Trockenzeit) schwer möglich ist. Das „*Grading*“ sollte zweimal jährlich (am Anfang und am Ende der Trockenzeit) durchgeführt werden. Ansonsten sind die Alternativen UN3 und UN4 identisch. Die Alternative UN3 hat den zweitbesten NPV und ist außerdem günstiger in den Baukosten. Im Folgenden wird die Alternative UN3 als beste Lösung für die ungebundenen Nationalen Straßen angenommen.

Ungebundene Provinz- und Departement- Straßen

Die Alternative UPD3 hat zwar den höchsten NPV für die ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen (s. Tab. A3.4-12, Anlage A3.4). Diese Alternative ist aber nicht zu empfehlen, weil die Kiesdeckschicht durch Materialverlust nicht erhalten wird. Diese Alternative enthält nur Maßnahmen der laufenden Unterhaltung, aber keine Maßnahme zur Wiederherstellung der Straßenoberfläche. Bei dieser Unterhaltungsmaßnahme werden verlorene Materialien ersetzt und die Straßenoberfläche wiederhergestellt. Nach dieser Erhaltungsmaßnahme wird die Kiesdeckschicht so dicht wie nach dem Bau der Straße, was nicht der Fall ist bei Maßnahmen der laufenden Unterhaltung. Diese Strecken werden damit schwer befahrbar in der Regenzeit, was mit einer Erhöhung der Straßennutzerkosten (vgl. Kap. 3.9) verbunden ist.

Für die ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen sollten die Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative UPD4 (durch HDM-4 als zweitbeste Lösung bewertet, mit Wiederherstellung der Straßenoberfläche) durchgeführt werden, damit hat man die Möglichkeit, die Kiesdeckschicht zu erhalten. Diese Maßnahmen kosten ca. 438,867 Millionen US \$ (s. Tabelle 5-9).

In der Tabelle 5-11 sind die vorgeschlagenen Strategien dargestellt. Die Durchführung dieser Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten werden zu einem Budget von 100% festgelegt.

Tabelle 5-11: Vorgeschlagene Maßnahmenstrategien ohne Budgetbegrenzung für die Erhaltung des gesamten Netzes in gutem Zustand

Abschnitt	Länge (in km)	Gewählte Strategie (Höchster NPV)	Jährlicher mittlerer IRI	Gesamtbaukosten ohne Routinemaß- nahmen (in Million US \$)	Gesamtbaukosten mit Routinemaßnahmen (in Million US \$)	Baukosten pro km (in US \$)
NPRGC	29	Alt. PN2	3,20	8,729	8,732	301104
NPRFC	1210	Alt. PN1	3,20	321,860	322,800	266777
NPRPC	707	Alt. PN1	3,32	188,062	188,066	266006
NPRBC	1440	Alt. PN4	3,94	383,040	383,048	266006
PPRFC	108	Alt. PP1	3,58	28,728	28,759	266288
PPRPC	140	Alt. PP1	3,59	37,240	37,255	266108
PPRBC	538	Alt. PP1	3,91	143,108	143,214	266198
DPRFC	73	Alt. PD1	3,94	16,641	16,681	228507
DPRPC	11	Alt. PD1	3,64	2,508	2,518	228910
DPRBC	291	Alt. PD4	4,76	66,348	66,357	228031
NUR-1	2053	Alt. UN3	6,48	167,104	178,806	87095
NUR-2	544	Alt. UN3	6,52	53,646	56,747	104315
NUR-3	1181	Alt. UN3	6,98	132,634	139,365	118006
PDUR	5925	Alt. UPD4	6,15	397,507	438,867	74071
GESAMT	14250	-		1947,155	2011,215	-

Damit betragen die Gesamtkosten ohne Budgetbegrenzung für die Erhaltung des vorrangigen Netzes Kameruns (ohne Land und Stadtstraßen) in einer Zeitspanne von 20 Jahren 2011,215 Millionen US \$ (s. Tabelle 5-11).

Da in Kamerun weniger Geld für die Erhaltung der Infrastruktur vorhanden ist, muss eine Analyse mit Budgetbegrenzung durchgeführt werden, um eine unter der Verwendung der vorhandenen Mittel optimale Erhaltungsstrategie zu entwickeln.

5.2.2 Analyse mit Budgetbegrenzung auf die verfügbaren Mittel (62 %)

Bei der Budgetbegrenzung wird bei einem vorgewählten Optimierungsverfahren ein mögliches Unterhaltungsprogramm bestimmt. Da die Finanzmittel ungenügend sind, besteht die Optimierung darin, festzulegen, wie die verfügbaren Mittel am besten verwendet werden.

Für diese Fallstudie wird eine Budgetbegrenzung auf 1200 Millionen US \$ (ca. 62 % der ermittelten 1947,155 Millionen US \$) in einer Zeitspanne von 20 Jahre festgesetzt. Das entspricht dem Straßenerhaltungsbudget von Kamerun (jährlich ungefähr 60 Millionen US \$ nach Angabe des Bauministeriums).

In der folgenden Tabelle (s. Tabelle 5-12) sind die optimalen Strategien (höchster Nettogegenwartswert) sowie die Gesamtkosten der Unterhaltung und Instandsetzung mit Budgetbegrenzung von 2006 (Analyseanfang) bis 2025 (Analyseende) zu sehen.

Tabelle 5-12: Wirtschaftliche Strategien sowie Gesamtkosten der Straßenunterhaltung und Instandsetzung mit Budgetbegrenzung auf 62 %

Abschnitt	Länge (in km)	Gewählte Strategie (Höchster NPV)	Jährlicher mittlerer IRI	Gesamtbaukosten ohne Routinemaß- nahmen (in Million US \$)	Gesamtbaukosten mit Routinemaßnahmen (in Million US \$)	Baukosten pro km (in US \$)
NPRGC	29	Alt. PN2	3,20	8,729	8,732	301104
NPRFC	1210	Alt. PN1	3,20	321,860	322,800	266777
NPRPC	707	Alt. PN1	3,32	188,062	188,066	266006
NPRBC	1440	Alt. PN4	3,94	383,040	383,048	266006
PPRFC	108	Alt. PP1	3,58	28,728	28,759	266288
PPRPC	140	Alt. PP1	3,59	37,240	37,255	266108
PPRBC	538	Alt. PP1	3,91	143,108	143,214	266198
DPRFC	73	Alt. PD1	3,94	16,641	16,681	228507
DPRPC	11	Alt. PD1	3,64	2,508	2,518	228910
DPRBC	291	Alt. PD4	4,76	66,348	66,357	228031
NUR-1	2053	Alt. UN2	8,60	0,000	23,405	11401
NUR-2	544	Alt. UN2	11,30	0,000	6,202	11401
NUR-3	1181	Alt. UN2	12,90	0,000	13,464	11401
PDUR	5925	Alt. UPD3	6,15	0,000	67,545	11400
GESAMT	14250	-		1196,264	1308,046	-

Die Tabelle 5-12 zeigt, dass sich bei der Budgetbegrenzung nur die Unterhaltungsalternativen der Repräsentativabschnitte NUR (ungebundene Nationale Straßen) und PDUR (ungebundene Provinz- und Departement- Straßen) ändern. Die Kosten ohne Berücksichtigung der Routinemaßnahmekosten sind Null für diese Straßen, weil die gewählten Alternativen (UN2 für NUR und UPD3 für PDUR) nur die Routinemaßnahmen der laufenden Unterhaltung (s. Tabelle 5-5) beinhalten. Obwohl das

Einebnen der Straßenoberfläche jährlich viermal stattfindet, berücksichtigt das HDM-4-Programm dessen Kosten bei der Ausgabe des Unterhaltungsprogramms nicht. Der Grund dafür liegt darin, dass die laufende Unterhaltung normalerweise auf allen Strecken durchgeführt werden muss und damit wäre das Unterhaltungsprogramm sehr lang. Das ist aber in Entwicklungsländern nicht immer der Fall wegen der Knappheit des Geldes und wegen der mangelhaften Verwaltung. Bei der Strategieanalyse mit Budgetbegrenzung geht es um Gewinnmaximierung. Für rentable Strecken wird Geld ausgegeben, nicht aber für die ungebundenen Straßen. Für die Gesamtwirtschaft des Landes und aus sozialen Gründen müssen aber alle Abschnitte in einem brauchbaren Zustand erhalten werden. Für die ungebundenen Straßen sollten die Unterhaltungsmaßnahmen mit Wiederherstellung der Straßenoberfläche durchgeführt werden. Damit hat man die Möglichkeit, die Kiesdeckschicht zu erhalten. Im folgenden Kapitel wird versucht mit einer Budgetbegrenzung auf 80% das Netz in brauchbarem Zustand zu erhalten.

5.2.3 Analyse mit Budgetbegrenzung auf 80%

Für diese Strategievariante wird eine Budgetbegrenzung von 1549,648 Millionen US \$ (ca. 80 % der ermittelten 1947,155 Millionen US \$) in einer Zeitspanne von 20 Jahre betrachtet. Die gewählten Alternativen sind in der Tabelle 5-13 dargestellt.

Tabelle 5-13: Wirtschaftliche Strategien sowie Gesamtkosten der Straßenunterhaltung und Instandsetzung mit Budgetbegrenzung auf 80 %

Abschnitt	Länge (in km)	Gewählte Strategie (Höchster NPV)	Jährlicher mittlerer IRI	Gesamtbaukosten ohne Routinemaß- nahmen (in Million US \$)	Gesamtbaukosten mit Routinemaßnahmen (in Million US \$)	Baukosten pro km (in US \$)
NPRGC	29	Alt. PN2	3,20	8,729	8,732	301104
NPRFC	1210	Alt. PN1	3,20	321,860	322,800	266777
NPRPC	707	Alt. PN1	3,32	188,062	188,066	266006
NPRBC	1440	Alt. PN4	3,94	383,040	383,048	266006
PPRFC	108	Alt. PP1	3,58	28,728	28,759	266288
PPRPC	140	Alt. PP1	3,59	37,240	37,255	266108
PPRBC	538	Alt. PP1	3,91	143,108	143,214	266198
DPRFC	73	Alt. PD1	3,94	16,641	16,681	228507
DPRPC	11	Alt. PD1	3,64	2,508	2,518	228910
DPRBC	291	Alt. PD4	4,76	66,348	66,357	228031
NUR-1	2053	Alt. UN3	6,48	167,104	178,806	87095
NUR-2	544	Alt. UN3	6,52	53,646	56,747	104315
NUR-3	1181	Alt. UN3	6,98	132,634	139,365	118006
PDUR	5925	Alt. UPD3	6,15	0,000	67,545	11400
GESAMT	14250	-		1549,648	1639,393	-

Im Vergleich zur Analyse mit Budgetbegrenzung auf 62% ändern sich lediglich die Unterhaltungsalternativen der Repräsentativabschnitten ungebundene Nationale Straßen (NUR).

Die Budgetbegrenzung auf 80% reicht auch nicht aus, um das Netz im guten Zustand zu erhalten, da bei dieser Strategievariante die Provinz- und Departement- Straßen mit der Unterhaltungsmaßnahme der Alternative UPD3 (ohne Wiederherstellung der Straßenoberfläche) durchgeführt werden. Die Alternativen mit Wiederherstellung der Straßenoberfläche (UPD4, UPD5 und UPD6) kosten mehr als 410 Millionen US \$, das sind mehr als 20% des gesamten Budgets (s. Tabelle 5-9 und Tabelle 5-11). Daher kann auf die weitere Betrachtung einer Variation der Budgetbegrenzung verzichtet werden.

5.2.4 Sensitivitätsanalyse mit Änderung der Optimierungsmethode

Eine Sensitivitätsanalyse mit Änderung der Optimierungsmethode zur „*Maximise d'IRI*“ wird in diesem Kapitel durchgeführt.

Bei dieser Strategieanalyse wird untersucht, zu welchen Kosten das Gesamtnetz im besten Zustand (Maximierung des Straßenzustandes) erhalten werden kann.

Der Verlauf dieser Analyse ist ähnlich wie die Analyse der Gewinnmaximierung. Die Eingabedaten sind auch gleich.

In der Tabelle 5-14 sind die optimalen Strategien (niedrigster jährlicher mittlerer IRI-Werte) sowie die Gesamtkosten der Straßen- Unterhaltung und Instandsetzung mit Maximierung des Straßenzustandes von 2006 bis 2025 zu sehen.

Tabelle 5-14: Optimale Strategien sowie Gesamtkosten der Straßen- Unterhaltung und Instandsetzung mit Maximierung des Straßenzustandes

Abschnitt	Länge (in km)	Gewählte Strategie (niedrigster IRI)	Jährlicher Mittlerer IRI	Gesamtbaukosten ohne Routinemaß- nahmen (in Million US \$)	Gesamtbaukosten mit Routinemaßnahmen (in Million US \$)	Baukosten pro km (in US \$)
NPRGC	29	Alt. PN2	3,20	8,729	8,732	301104
NPRFC	1210	Alt. PN1	3,20	321,860	322,800	266777
NPRPC	707	Alt. PN1	3,32	188,062	188,066	266006
NPRBC	1440	Alt. PN1	3,34	1.512	1512,003	1050000
PPRFC	108	Alt. PP1	3,58	28,728	28,759	266288
PPRPC	140	Alt. PP1	3,59	37,240	37,255	266108
PPRBC	538	Alt. PP1	3,91	143,108	143,214	266198
DPRFC	73	Alt. PD2	3,91	15,330	15,333	210042
DPRPC	11	Alt. PD1	3,64	2,508	2,518	228910
DPRBC	291	Alt. PD1	4,17	261,900	261,944	900152
NUR-1	2053	Alt. UN4	6,18	167,102	190,425	92755
NUR-2	544	Alt. UN4	6,22	53,646	59,826	109975
NUR-3	1181	Alt. UN4	6,68	132,632	146,049	123666
PDUR	5925	Alt. UPD3	6,15	0,000	67,545	11400
GESAMT	14250	-		2872,845	2984,469	-

Bei dieser Strategievariante betragen die Gesamtkosten der Straßenerhaltung für die Zeitspanne von 20 Jahre 2984,469 Millionen US \$. Die Routinemaßnahmenkosten betragen 111,624 Millionen US \$.

Beim Betrachten der Tabelle 5-14 fällt auf, dass sich bei der Änderung der Optimierungsmethode die Unterhaltungsalternativen der Repräsentativabschnitte

NPRBC, DPRFC und DPRBC ändern. Die gewählte Alternative PN1 des Repräsentativabschnitts NPRBC (1440 km) kostet 1512 Millionen US \$. Das sind 1129 Millionen mehr als bei der gewählten Alternative PN4 der Analyse mit Gewinnmaximierung, obwohl die Verbesserung des IRI gering ist (3,94 auf 3,34). Die aufwendige Maßnahme „Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes“ wird bei der Alternative PN1 durchgeführt. Diese unbezahlbare Maßnahme bringt aber keinen großen Unterschied im Vergleich zur Alternative PN4, bei der die Erhaltungsmaßnahme „Erneuerung der Deckschicht“ durchgeführt wird. Die Verfallskurven der Alternativen PN1 und PN4 sind in der Abbildung 5-3 zu sehen.

5.2.5 Sensitivitätsanalyse mit Änderung der Betrachtungsperiode

Eine Sensitivitätsanalyse (Gewinnmaximierung ohne Budgetbegrenzung) mit der Empfindlichkeit der Ergebnisse gegenüber der Variation der Beobachtungsperiode wird durchgeführt. Während die übrigen Eingabedaten unverändert bleiben, wird der Beobachtungszeitraum von 20 auf 40 Jahre verändert. Die Ergebnisse zeigen, dass alle gewählten Alternativmaßnahmen sowohl für die Strategieanalyse in einer Zeitspanne von 20 Jahren als auch für die Sensitivitätsanalyse mit 40 Jahren maßgebend sind. Die Netzplanung kann für 20 Jahre durchgeführt werden. Für eine langfristige Beobachtung des Netzes dient die Sensitivitätsanalyse. Das Unterhaltungsprogramm dieser Sensitivitätsanalyse ist in der Anlage A3.3 (Tabelle A3.3-1) zu sehen.

5.2.6 Vergleich der mittleren IRI der verschiedenen Analysen

Die folgende Abbildung zeigt den mittleren Unebenheitsindex bei den verschiedenen Szenarien.

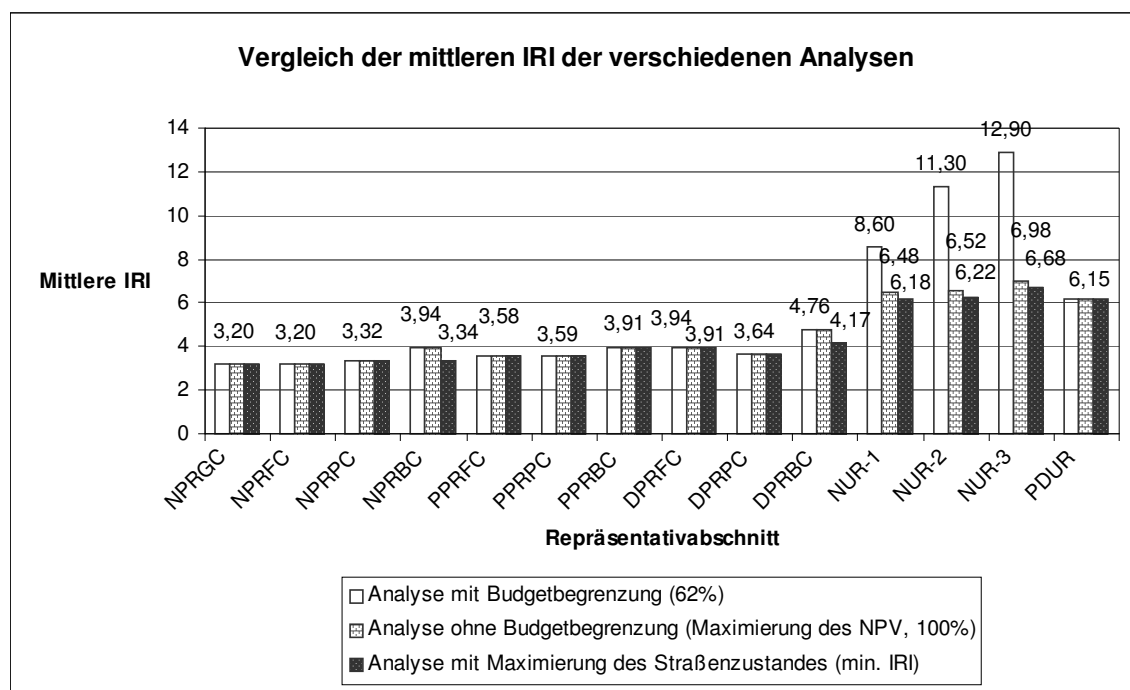


Abbildung 5-6: Vergleich der mittleren IRI der verschiedenen Analysen

Außer bei den Repräsentativabschnitten NPRBC, DPRBC, DPRFC und NUR ist der mittlere Unebenheitsindex IRI aller Straßenabschnitte gleich für alle Analysevarianten.

Die Analyse mit Maximierung des Straßenzustandes zeigt eine Verbesserung des IRI der Repräsentativabschnitte NPRBC (3,94 auf 3,34) DPRFC (3,94 auf 3,91), DPRBC und (4,76 auf 4,17). Der Zustand aller anderen Repräsentativabschnitte bleibt unverändert. Die kleine Verbesserung des IRI des Repräsentativabschnitts NPRBC führt zu einem großen Kostenanstieg (383 auf 1.512 Millionen US \$), was unbezahlbar ist. Die Durchführung der Alternativmaßnahme PN1 würde bedeuten, dass das Gesamtbudget für einen Repräsentativabschnitt nicht ausreicht.

Dieses Beispiel zeigt, dass eine sachkundige Bewertung der Programmergebnisse unverzichtbar ist. Für jeden Straßenabschnitt sollte die richtige Alternativmaßnahme in der Betrachtung gleichzeitig für den mittleren IRI und den NPV durchgeführt werden. Die rein wirtschaftliche Analyse sollte überschritten werden, um in Bezug auf die Straßenverwaltung zu überlegen, welche Strategiemäßnahme am besten zu jedem Repräsentativabschnitt passt.

Der Repräsentativabschnitt PDUR hat den gleichen IRI für alle Strategievarianten, aber die durch das HDM-4-Programm gewählte Alternative UPD3 ist nicht zu empfehlen, weil sie nur Maßnahmen der laufenden Unterhaltung und keine Maßnahme mit Wiederherstellung der Straßenoberfläche enthält.

Der IRI der ungebundenen Nationalen Straßen (NUR) verschlechtert sich bei der Budgetbegrenzung, da diese Strecken unrentabel sind und weniger Geld für die Erhaltung bekommen. Der Repräsentativabschnitt NUR-3 hat den höchsten IRI-Wert (12,90), weil die Verkehrsbelastung höher ist als bei den Repräsentativabschnitten NUR-1 und NUR-2. Die durch das HDM-4-Programm gewählte Alternative bei der Analyse mit Budgetbegrenzung für diese Repräsentativabschnitte (NUR-1, NUR-2 und NUR-3) ist die Alternative UN2, die nur Maßnahmen der laufenden Unterhaltung umfasst.

Obwohl die ungebundenen Nationalen Straßen (NUR) mit den Unterhaltungsmaßnahmen der empfohlenen Alternative UN3 unterhalten werden können, werden sie in der Regenzeit schwer befahrbar und manchmal gar nicht befahrbar sein. Die Folgen wären katastrophal, da die Ernte auf den Feldern verrotten würde und viel Kapital verloren geht.

Im folgenden Kapitel wird versucht, das Problem der ungebundenen Strecken zu lösen, die während der Regenzeit auf Grund des aufgeweichten Bodens schwer befahrbar und manchmal gar nicht befahrbar sind. Im Rahmen dieser Untersuchung werden nur die ungebundenen Nationalen Strecken berücksichtigt, weil sie die gleiche Rolle wie die asphaltierten Nationalen Strecken spielen. Eine vernünftige Erhaltung der ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen, die eine niedrige Verkehrsbelastung (75 Fz/24h) haben, mit den Erhaltungsmaßnahmen der Alternative UPD4 reicht aus, um einen ausreichenden Zustand der Straßen zu gewährleisten. Dieser

Repräsentativabschnitt ist auch sehr lang (5925 km), und wegen der Knappheit des Geldes wird versucht, eine Lösung für die ungebundenen Nationalen Strecken zu finden.

5.3 Erhaltung aus betriebstechnischer Sicht unrentabler nationaler ungebundener Strecken

In Entwicklungsländern spielen die ungebundenen Straßen im Gegensatz zu den Industrieländern eine genauso wichtige Rolle wie die asphaltierten.

Die ungebundenen Straßen sind schwer befahrbar und in der Regenzeit manchmal gar nicht befahrbar (s. Abbildung 5-7). Die Güter kommen nicht mehr auf den Markt und die Dörfer werden unerreichbar. Der Transport wird teurer. Die Agrarwirtschaft bildet für etwa 80% der Bevölkerung die Erwerbs- und Existenzgrundlage und trägt rund 30% zum Bruttoinlandsprodukt und ca. 35% zu den Ausfuhrerlösen bei. Die ganzjährige Befahrbarkeit der ungebundenen Nationalen Strecken wird positiven Einfluss auf das Wirtschaftswachstum des ganzen Landes nehmen.



Abbildung 5-7: Unbefahrbare ungebundene Straße in der Regenzeit [57]

Wenn die Straßen unbefahrbar sind, müssen die Dorfbewohner die Agrarprodukte auf dem Kopf zum Markt tragen.

Auch wenn die ungebundenen Strassen mit der Erhaltungsmaßnahme „regravelling“ erhalten werden, werden sie in der Regenzeit nach starken Regen gesperrt (s. Abbildung 5-8).



Abbildung 5-8: Gesperrte Kiesstraße nach einem starken Regen [57]

Außerdem gibt es Umweltverschmutzung durch den Staub in der Trockenzeit, und die kontinuierliche Verwendung von Laterit (mindesten 120 m³ pro km jedes Jahr nach der Alternative UN3 für die Repräsentativabschnitte NUR-2 und NUR-3) belastet die Umwelt. Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Transportkosten bis zu einer Entfernung von 25 km (Strecke zwischen Dorf und Marktver-/entsorgung in Entwicklungsländern [71]).

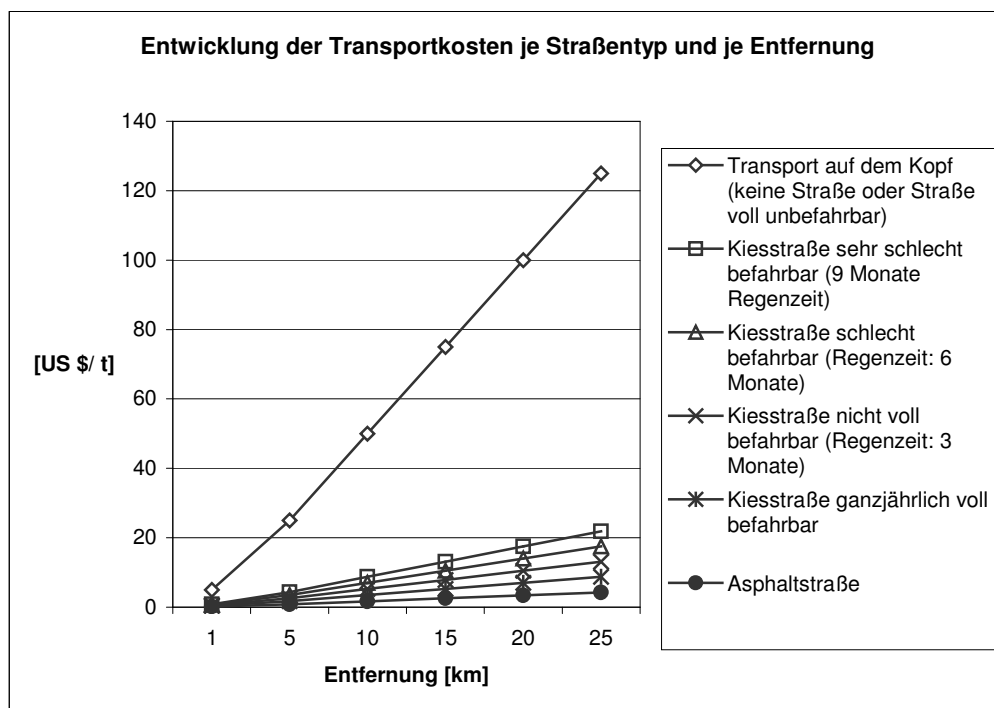


Abbildung 5-9: Entwicklung der Transportkosten je Straßentyp und je Entfernung [71]

Der Transport auf dem Kopf infolge des Straßenmangels ist sehr teuer. Die Transportkosten infolge schwerer Befahrbarkeit der Straße in der Regenzeit sind ebenfalls hoch. Die Bevölkerungsteile ohne gewährleisteten Zugang zu den sozialen und wirtschaftlichen Dienstleistungen sind ärmer als jene, die von einem gewährleisteten Zugang profitieren.

Der Transport auf den Asphaltstraßen ist bequemer, sicherer und kostengünstiger als auf den Kiesstraßen. Die Asphaltstraßen sind ganzjährig befahrbar und die Verkehrsbelastungen sind auf diesen Strecken höher. Aus diesem Grund wird im Folgenden untersucht, ob eine Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Straßen sinnvoll bzw. wirtschaftlich sein kann.

5.3.1 Analyse zur Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Straßen

Eine Analyse zur Asphaltierung aller ungebundenen Nationalen Straßen (*Upgrading*) wird durchgeführt, um das Problem der schweren Befahrbarkeit der ungebundenen Straßen und der Umweltverschmutzung zu lösen.

Der Maßnahmenkatalog sowie die Einheitspreise sind in der Tabelle 5-15 zu sehen. Die Einheitskosten sind Schätzwerte, berechnet aus den Angaben des Bauministeriums über die Preise von 1 m³ Tragschicht mit Zement verbessertem tonigen Sand (46 US \$) und einer 50 mm Asphaltdeckschicht (16 US \$/m²).

Es wird angenommen, dass vor der Asphaltierung die Laterit-Kiesschicht (150 mm) neu gebaut wird, da die Mehrheit der ungebundenen Nationalen Strecken in schlechtem Zustand sind (vg. Kap. 2).

Tabelle 5-15: Maßnahmenkatalog und Einheitskosten der verschiedenen Neubau- und Erhaltungsmaßnahmen

Maßnahmen	Eingreifkriterien	Einheitskosten [US \$/m²]
Neubaumaßnahmen		
<i>Pave unpaved road</i> (Asphaltieren der Nationalen ungebundenen Straßen, Decke 20mm)	-	17,05
<i>Pave unpaved road</i> (Asphaltieren der Nationalen ungebundenen Straßen, Decke 30mm)	-	20,25
<i>Pave unpaved road</i> (Asphaltieren der Nationalen ungebundenen Straßen, Decke 40mm)	-	23,45
<i>Pave unpaved road</i> (Asphaltieren der Nationalen ungebundenen Straßen, Decke 50mm)	-	26,65
Unterhaltungs- und Erhaltungsmaßnahmen		
PLT2C1: Patch, Reseal & Reconstruction (20mm)		
- Verfüllen von Schlaglöchern	E0: Anzahl der Schlaglöchern pro km ≥ 10	8,00
- Oberflächenbehandlung	E5: Mehr als 30% der Fahrbahnoberfläche ist beschädigt	3,00
- Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>Recycling</i>)	IRI ≥ 8	15,35
PLT2C2: Patch, Reseal & Reconstruction (30 mm)		
- Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8,00
- Oberflächenbehandlung	E5	4,20
- Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>Recycling</i>)	IRI ≥ 8	18,23
PLT2C3: Patch, Reseal & Reconstruction (40 mm)		
- Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8,00
- Oberflächenbehandlung	E5	5,60
- Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>Recycling</i>)	IRI ≥ 8	21,11
PLT2C4: Patching, Reseal & Reconstruction (50 mm)		
- Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8,00
- Oberflächenbehandlung	E5	7,00
- Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes (<i>Recycling</i>)	IRI ≥ 8	23,98

Der Kiesschicht soll dabei zusätzlich mit Zement stabilisiert werden, um die Straße länger erhalten zu können. Der Zement ist zwar teuer, aber ist das einzige Bindemittel, das überall im Land zu finden ist. Der Fahrbahnaufbau ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

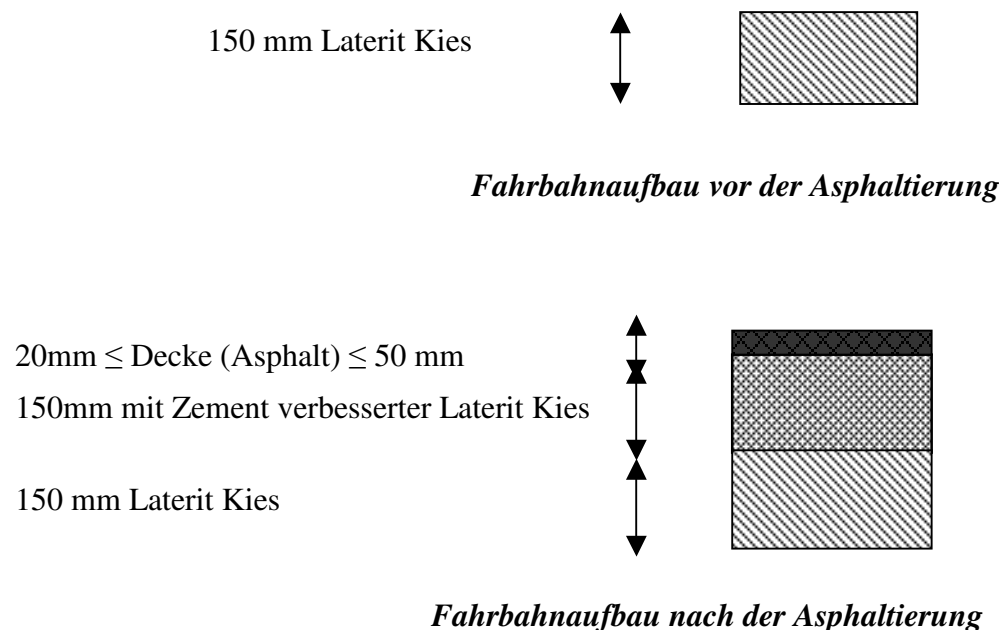


Abbildung 5-10: Straßenabschnitt vor und nach der Asphaltierung

Die Struktur des Oberbaus der verschiedenen Alternativen ist in der Tabelle 5-16 zu sehen [20], [21], [73], [74].

Tabelle 5-16: Schichtdicke jede Strategiemassnahme

	Alternative UN11	Alternative UN12	Alternative UN13	Alternative UN14
Decke	20	30	40	50
Binderschicht	150	150	150	150
Tragschicht	150	150	150	150
Gesamtdicke [mm]	320	330	340	350

Folgende Strategiemassnahmen (s. Tabelle 5-17) werden auf jeden Repräsentativabschnitt der ungebundenen Nationalen Straßen (NUR-1, NUR-2 und NUR-3) untersucht. Die Strategiemassnahmen sowie die Eingreifkriterien sind selbst definiert, um die Wirtschaftlichkeit der Veränderung der Asphaltdeckschicht unter verschiedenen Verkehrsbelastungen zu überprüfen. Die beste Alternative der Kiesstraßen (Alternative UN3) wird berücksichtigt, um die Wirtschaftlichkeit einer Asphaltstraße mit einer gut unterhaltenen Kiesstraße zu vergleichen.

Tabelle 5-17: Verschiedene Strategiemassnahmen zur Lösung des Problems der schweren Befahrbarkeit

Alternative	Massnahmen	Bedeutung	Eingreifkriterien
Basisoption	<i>G1C1: Grading 1/yr & Spot regravelling 1/yr</i>	lokale Wiederherstellung	einmal pro Jahr
		ungebundene Straßenoberfläche einebnen	einmal pro Jahr
Alternative UN3	<i>Grading 2/yr & Spot regravelling 1/yr & Regravelling at 130 mm & Reconstruction</i>	lokale Wiederherstellung	einmal pro Jahr
		ungebundene Straßenoberfläche einebnen	zweimal pro Jahr
		Wiederherstellung der ungebundenen Straßenoberfläche	Deckschichtrest-dicke ≤ 130 mm
		Erneuerung des gesamten Oberbaus	$IRI \geq 12$
Alternative UN11	<i>Pave unpaved road (PURC) & PLT5C1 (Patching, Reseal & Reconstruction)</i>	Asphaltieren der ungebundenen Nationalen Straßen (Decke: 20 mm)	-
		Verfüllen von Schlaglöchern	E1
		Oberflächenbehandlung	E6
		Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	$IRI \geq 8$
Alternative UN12	<i>Pave unpaved road (PURC) & PLT5C2 (Patching, Reseal & Reconstruction)</i>	Asphaltieren der ungebundenen Nationalen Straßen (Decke 30 mm)	-
		Verfüllen von Schlaglöchern	E1
		Oberflächenbehandlung	E6
		Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	$IRI \geq 8$
Alternative UN13	<i>Pave unpaved road (PURC) & PLT5C3 (Patching, Reseal & Reconstruction)</i>	Asphaltieren der ungebundenen Nationalen Straßen (Decke: 40 mm)	-
		Verfüllen von Schlaglöchern	E3
		Oberflächenbehandlung	E6
		Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	$IRI \geq 8$
Alternative UN14	<i>Pave unpaved road (PURC) & PLT5C4 (Patching, Reseal & Reconstruction)</i>	Asphaltieren der ungebundenen Nationalen Straßen (Decke: 50 mm)	-
		Verfüllen von Schlaglöchern	E1
		Oberflächenbehandlung	E6
		Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	$IRI \geq 8$

Der Verlauf dieser Analyse ist identisch zu der Analyse mit Gewinnmaximierung (NPV).

Die Verfallskurven der Basisoption und der Alternativen UN3 und UN11 (die besten Lösungen: höchste NPV) sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 5-11 bis Abbildung 5-13) zu sehen.

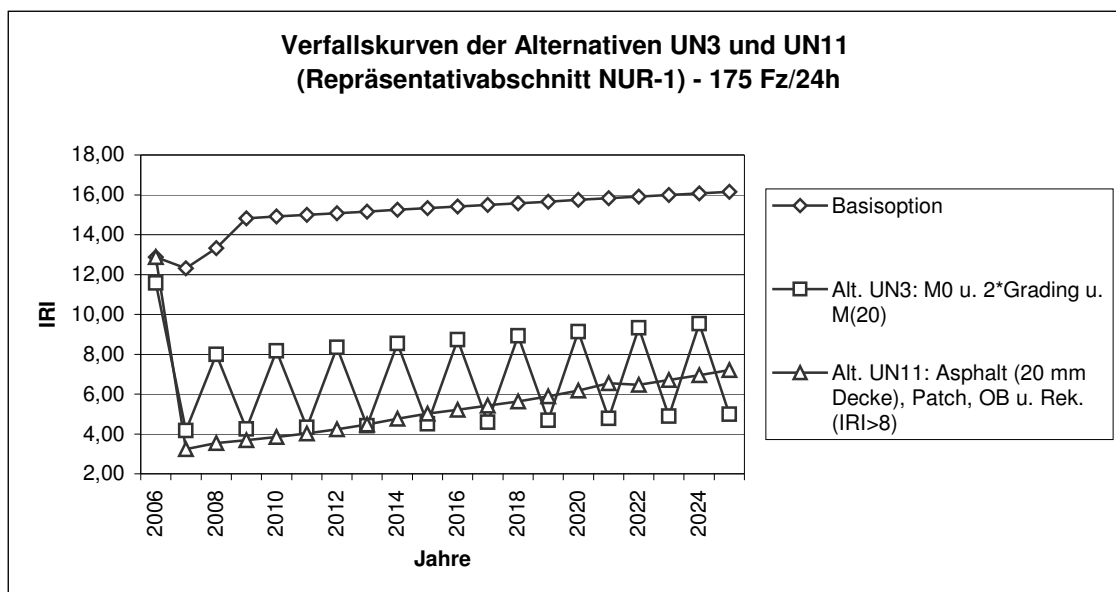


Abbildung 5-11: Verfallskurven der Alternativen UN3 und UN11 (ungebundene Nationale Straßen-Abschnitt1)

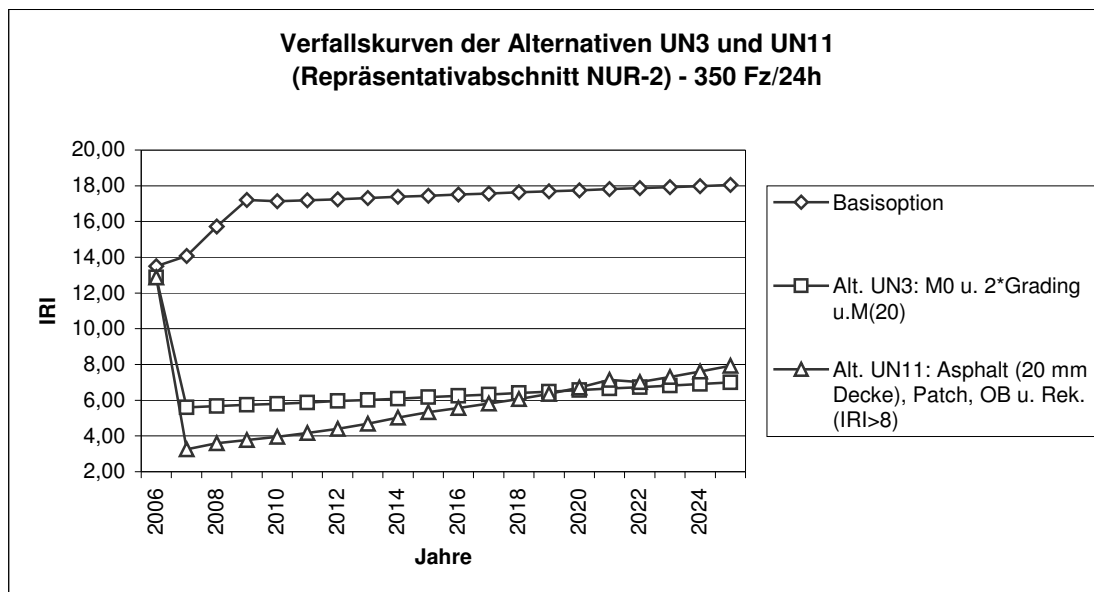


Abbildung 5-12: Verfallskurven der Alternativen UN3 und UN11 (ungebundene Nationale Straßen-Abschnitt2)

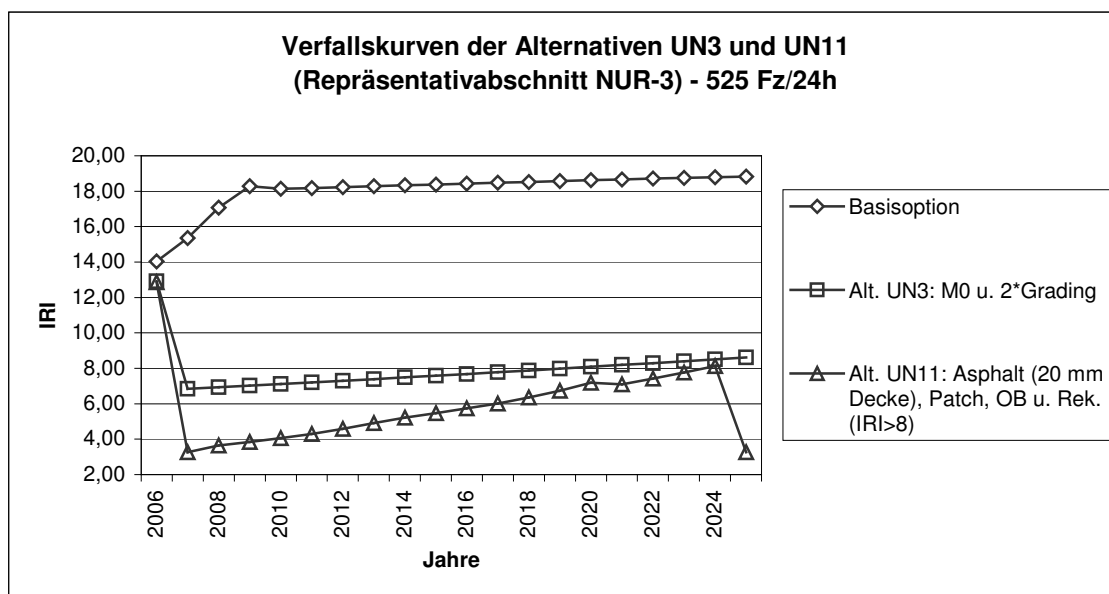


Abbildung 5-13: Verfallskurven der Alternativen UN3 und UN11 (ungebundene Nationale Straßen-Abschnitt3)

Bei der Betrachtung der Abbildung 5-11 fällt auf, dass die Verbesserung des IRI der Kiesstraße (Alternative UN3) jedes zweite Jahr erneut vorgenommen werden muss. Die Erneuerung der Deckschicht findet bei den Repräsentativabschnitten NUR-2 und NUR-3 jedes Jahr statt (Abbildung 5-12 und Abbildung 5-13), weil die Verkehrsbelastung auf diesen Abschnitten höher ist als bei dem Repräsentativabschnitt NUR-1. Nach der Asphaltierung wächst der IRI von 2007 bis zum Ende des Analysenjahrs für die Alternative UN11. Es gibt inzwischen nur kleine Verbesserungen infolge der Oberflächenbehandlung der gesamten Straßenoberfläche. Für den

Repräsentativabschnitt NUR-3 (Abbildung 5-13), wächst der IRI von 2007 bis 2024, wenn die Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes stattfindet, bis das Eingreifkriterium ($IRI \geq 8$) erfüllt ist.

Nach der wirtschaftlichen Analyse ist der Nettogegenwartswert als Funktion der Baulastträgerkosten je Abschnitt und je Alternative in der folgenden Abbildung 5-14 dargestellt. Die Bezeichnung 1, 2 oder 3 gilt für den Repräsentativabschnitt NUR-1, NUR-2 oder NUR-3.

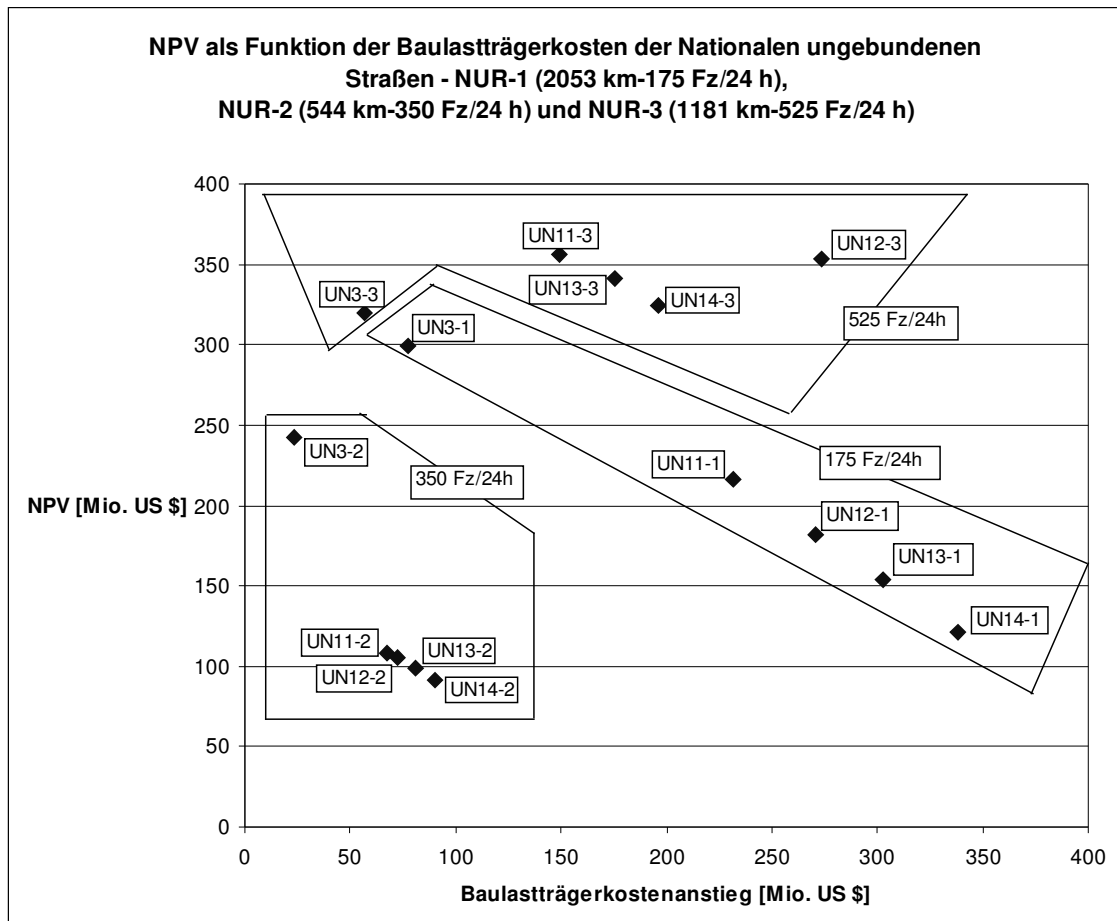


Abbildung 5-14: Entwicklung der Baulastträgerkostenanstieg als Funktion des NPV

Die Abbildung zeigt, dass die Strategiemeasures der Alternative UN3 ohne Berücksichtigung der schweren Befahrbarkeit in der Regenzeit den höchsten NPV für die Repräsentativabschnitte NUR-1 und NUR-2 hat. Die Alternative UN11 ist die wirtschaftlichste Lösung (höchster NPV) des Repräsentativabschnittes NUR-3. Betrachtet man den NPV der drei Abschnitte ist die Alternative UN11 die wirtschaftlichste Lösung der stufenweisen Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Straßen.

Die Alternative UN14 (Asphaltierung mit einer Decke von 50 mm) hat den niedrigsten NPV und die höchsten Baulastträgerkosten. Sie ist nicht zu empfehlen.

Unter Berücksichtigung der schlechten Befahrbarkeit der ungebundenen Straßen in der Regenzeit, den hohen Transportkosten und der Umweltbelastung ist die Alternative UN11 empfehlenswert. Damit wird das Problem der Unbefahrbarkeit der ungebundenen Straßen in der Regenzeit gelöst. Der Vergleich der Entwicklung der Baukosten der Alternativen UN3 und UN11 ist in der Tabelle 5-18 dargestellt.

Tabelle 5-18: Vergleich der Kostenentwicklung der Alternativen UN3 und UN11

Jahre	Gesamtbau- Erhaltungs- und Unterhaltungskosten der Alternative UN3	Gesamtbau- Erhaltungs- und Unterhaltungskosten der Alternative UN11
	[Mio. US \$]	[Mio. US \$]
2006	82,08	458,77
2007	8,23	0,00
2008	21,55	0,00
2009	8,36	0,00
2010	21,79	0,00
2011	8,49	0,00
2012	22,05	0,00
2013	8,64	25,58
2014	22,32	56,22
2015	8,79	0,00
2016	22,61	0,00
2017	8,94	0,00
2018	22,92	0,00
2019	9,11	0,00
2020	23,23	25,53
2021	9,28	56,11
2022	23,57	0,00
2023	9,46	0,00
2024	23,91	129,11
2025	9,65	59,47
Gesamt	374,92	810,76

Die Gesamtbaukosten dieser Alternative betragen 810,79 Mio. US \$ in einer Zeitspanne von 20 Jahren. Im Vergleich zur Alternative UN3 ist diese Alternative 435,81 Mio. US \$ teurer. Die Gesamtbaukosten der Asphaltierung des ganzen ungebundenen Nationalen Strecken beträgt am Analysenjahresanfang 458,77 Mio. US \$, was der Baulastträger nicht leisten kann. Im Folgenden wird versucht, die Baudurchführung über die Zeit zu verteilen.

5.3.2 Verlängerung der Bauzeit wegen Knappheit des Geldes

Neubau- oder Ausbaumaßnahmen werden im HDM-4-Programm auf eine Periode von fünf Jahren begrenzt. Es wird aber wegen der Knappheit des Geldes vorgeschlagen, dass die Strategiemeasures der Alternative UN11 über zehn Jahre durchgeführt werden. Dabei werden jedes Jahr 10% der gesamten ungebundenen Nationalen Straßen

(3778 km) asphaltiert. Am Anfang des Analysejahrs werden 378 km asphaltiert während die verbleibenden 3400 km mit der Alternative UN3 erhalten werden. Im zweiten Jahr werden noch einmal 378 km asphaltiert, die erste Strecke (378 km) nach der Erhaltungsmaßnahme PLT5C1 und 3022 km mit der Alternative UN3 erhalten usw. Nach zehn Jahre ist das gesamte ungebundene Nationale Straßennetz (3778 km) asphaltiert. Der Verlauf der Gesamtbau- und Erhaltungskosten sowie der Straßennutzerkosten ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

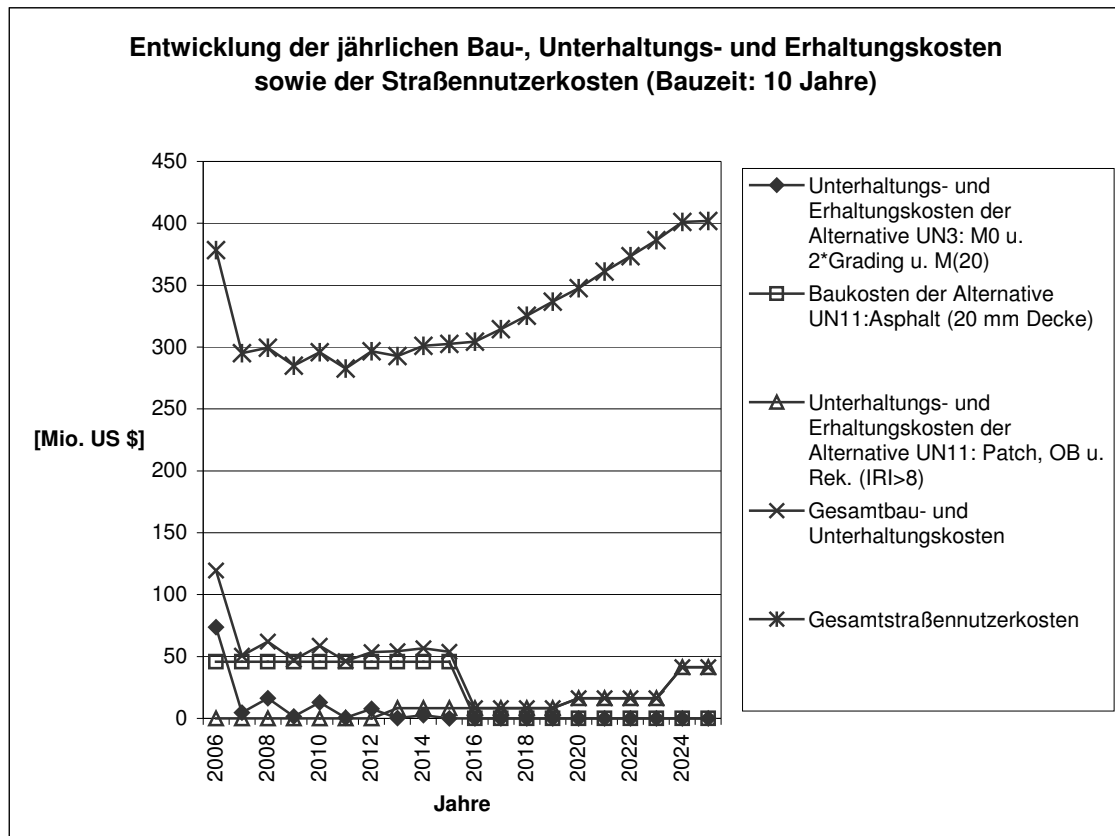


Abbildung 5-15: Baukosten und Straßennutzerkosten einer zehnjährigen Bauplanung

Die Gesamtbau- und Erhaltungskosten von 2006 bis 2025 betragen ca. 784,118 Mio. US \$.

Die Abbildung 5-15 zeigt, dass die Gesamtbaukosten und die Straßennutzerkosten am Anfang der Analyse sehr hoch sind, weil die Straßen in sehr schlechtem Zustand sind. Die Baukosten werden danach ca. 50% der Baukosten am Anfang des ersten Analysejahrs betragen bis zum Ende der Bauzeit (10 Jahre). Danach werden die Kosten sehr niedrig, da es nun nur um die Unterhaltung und Erhaltung der asphaltierten Straßen geht. Die Straßenrekonstruktion fängt ab 2024 an, weil die Eingreifkriterien ($IRI \geq 8$) erfüllt sind. Die Straßennutzerkosten (Fahrzeugbetriebskosten und Reisekosten) steigen, weil es im Laufe der Zeit mehr Fahrzeuge gibt (Zuwachsrte: 2,5%) und die Straßennutzerkosten entsprechend der zunehmenden Längsunebenheit steigen. Der Nettogegenwartswert bleibt aber nach der Asphaltierung hoch, wenn die

Verkehrsbelastung 525 Fz/24h ist (s. Abbildung 5-14), weil diese Verbesserungsmaßnahme zu mehr Einsparung der Straßennutzerkosten führt. Außerdem sind die Straßen nach der Asphaltierung ganzjährig befahrbar.

Um die Baulastträger am Anfang der Analyse zu entlasten und wegen der Knappheit des Geldes, wird versucht die Bauzeit über 15 Jahre zu verteilen. Dabei werden am Anfang des Analysejahrs 252 km asphaltiert. Nach fünfzehn Jahre sind die gesamten ungebundenen Nationalen Straßen (3778 km) asphaltiert. Der Verlauf der Gesamtbau- und Erhaltungskosten sowie der Straßennutzerkosten über die Zeit ist in der folgenden Abbildung zu sehen. Die Gesamtbau- und Unterhaltungskosten von 2006 bis 2025 betragen ca. 763,879 Mio. US \$.

Betrachtet man die Abbildung 5-16, dann fällt auf, dass die Gesamtbaukosten und die Straßennutzerkosten am Anfang der Analyse noch sehr hoch sind. Die Baukosten werden danach weniger als 50% der Baukosten am Anfang des Analysejahrs betragen bis zum Ende der Bauzeit (15 Jahre). Die Kostenverteilung ist besser als bei der zehnjährigen Bauplanung und der Baulastträger ist in der Bauzeit mehr entlastet.

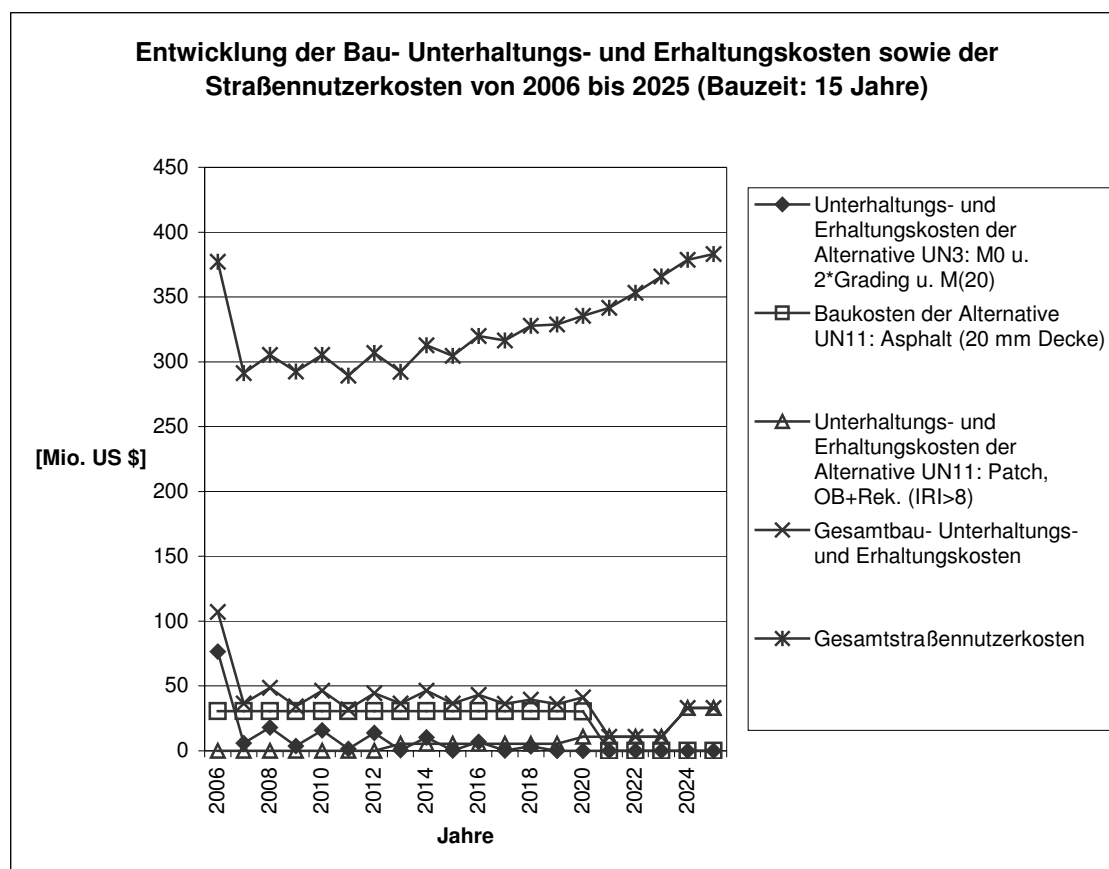


Abbildung 5-16: Baukosten und Straßennutzerkosten einer fünfzehnjährigen Bauplanung

Damit man die Bauzeit 10 und 15 Jahre gut vergleichen kann, sind die Kostenentwicklung in der Tabelle 5-19 nebeneinander platziert.

Tabelle 5-19: Kostenvergleich der Bauzeit 10 und 15 Jahre

Jahr	Baukosten der Alt. UN3 [Mio. US \$]		Baukosten der Alt. UN11 [Mio. US \$]		Gesamtbau- und Erhaltungskosten [Mio. US \$]		Straßennutzer [Mio. US \$]	
	10 Jahre	15 Jahre	10 Jahre	15 Jahre	10 Jahre	15 Jahre	10 Jahre	15 Jahre
2006	73,626	76,441	45,91	30,61	119,52	107,04	378,40	377,18
2007	4,75	5,91	45,91	30,61	50,65	36,51	295,09	291,24
2008	16,28	18,031	45,91	30,61	62,18	48,63	299,57	305,47
2009	1,47	3,64	45,91	30,61	47,37	34,24	285,04	292,61
2010	12,83	15,88	45,91	30,61	58,73	46,48	295,99	305,44
2011	0,44	1,48	45,91	30,61	46,34	32,08	282,80	289,33
2012	7,76	13,81	45,91	30,61	53,66	44,41	296,54	306,93
2013	0,22	0,51	45,91	30,61	54,31	36,56	292,86	292,36
2014	2,61	10,45	45,91	30,61	56,69	46,51	300,93	312,68
2015	0,00	0,36	45,66	30,61	53,85	36,42	302,47	304,52
2016	0,00	7,03	0,00	30,61	8,19	43,09	304,36	319,83
2017	0,00	0,22	0,00	30,61	8,19	36,28	314,56	316,57
2018	0,00	3,54	0,00	30,61	8,19	39,60	325,30	327,70
2019	0,00	0,072	0,00	30,61	8,19	36,13	336,74	328,87
2020	0,00	0,00	0,00	30,36	16,38	41,27	347,65	335,49
2021	0,00	0,00	0,00	0,00	16,38	10,91	361,06	341,52
2022	0,00	0,00	0,00	0,00	16,38	10,91	373,47	353,33
2023	0,00	0,00	0,00	0,00	16,38	10,91	386,29	365,71
2024	0,00	0,00	0,00	0,00	41,33	33,01	401,02	378,71
2025	0,00	0,00	0,00	0,00	41,33	33,01	401,80	383,16
Gesamt	119,99	157,374	458,90	458,90	784,24	764,00	6581,94	6528,65

Obwohl die Bauzeit über fünfzehn Jahre verteilt wird, sind die Baukosten immer noch sehr hoch am Anfang des Analysejahrs. Die jährlichen Kosten der Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Straßen nach der Alternative UN11 betragen, in beiden Fällen, mehr als die Hälfte des Straßenbau- und Unterhaltungsbudgets Kameruns (ca. 60 Mio. US \$). Das Land kann damit diese Asphaltierung ohne internationale Hilfe nicht finanzieren. Es kann aber versucht werden, abschnittsweise je nach Bedeutung der Strecke (produzierende Landwirtschaft, Verkehrsbelastung, Klimazone, Transitstrecke, Verbindungen zwischen Provinzen) zu asphaltieren.

Es wird in den folgenden Kapiteln eine Strategieanalyse des ungebundenen Nationalen Straßennetz Kameruns untersucht, damit das ganze Netz abschnittsweise asphaltiert und ganzjährig befahrbar werden kann.

5.3.3 Analyse zur Asphaltierung des gesamten ungebundenen Nationalen Netzes

5.3.3.1 Vorrangige Strecken

Im Rahmen dieser Analyse werden drei verschiedene Verkehrsbelastungen (175, 350 und 525 Fz/24h), drei verschiedene Klimazonen (3 Monate, 6 Monate und 9 Monate Regenzeit) und 3 Landwirtschaftliche Bedingungen (kein Produkt, unverderbliche und verderbliche Produkte) betrachtet. Daraus resultieren 27 verschiedene Strecken (s. Tabelle 5-20 und Tabelle 5-21). Die landwirtschaftliche Produktion wird berücksichtigt, weil im Güterverkehr Transportkosten, insbesondere in ländlichen Gebieten, eine signifikante Komponente in den Gesamtkosten von Waren darstellen.

Tabelle 5-20: Verschiedene Verkehrsbelastungen, Klimazonen und landwirtschaftliche Produkte

Verkehrsbelastung (175 Fz/24h) – V1	Verkehrsbelastung (350 Fz/24h) – V2	Verkehrsbelastung (525 Fz/24h) – V3
Regenzeit (3 Monate) – R1 <i>Semi-arid/Tropical:</i> Niederschlag: Mindestens 600 mm/Jahr	Regenzeit (6 Monate) – R2 <i>Sub-Humid / Tropical:</i> Niederschlag: Mindestens 1200 mm/Jahr	Regenzeit (9 Monate) – R3 <i>Humid-Tropical:</i> Niederschlag: Mindestens 2100 mm/Jahr
Landwirtschaftliche Produkte (kein) – N1	Landwirtschaftliche Produkte (nicht verderblich) – N2	Landwirtschaftliche Produkte (verderblich) – N3

Tabelle 5-21: Zusammenstellung der verschiedenen Streckenkombinationen

S1: (V1, R1, N1)*	S10: (V2, R1, N1)*	S19: (V3, R1, N1)*
S2: (V1, R1, N2)	S11: (V2, R1, N2)	S20: (V3, R1, N2)
S3: (V1, R1, N3)*	S12: (V2, R1, N3)*	S21: (V3, R1, N3)*
S4: (V1, R2, N1)*	S13: (V2, R2, N1)*	S22: (V3, R2, N1)*
S5: (V1, R2, N2)	S14: (V2, R2, N2)	S23: (V3, R2, N2)
S6: (V1, R2, N3)	S15: (V2, R2, N3)	S24: (V3, R2, N3)
S7: (V1, R3, N1)*	S16: (V2, R3, N1)*	S25: (V3, R3, N1)*
S8: (V1, R3, N2)	S17: (V2, R3, N2)	S26: (V3, R3, N2)
S9: (V1, R3, N3)	S18: (V2, R3, N3)	S27: (V3, R3, N3)

* In Kamerun nicht vorhanden

Die verschiedenen Klimazonen sowie die verschiedenen landwirtschaftlichen Produkte sind in der Anlage A4.0 zu sehen. Die Hauptagrarprodukte des Landes (Produktion von 2000/2001, Angabe des „Institut National de la Statistique“) sowie das betroffene Netz sind in der folgenden Tabelle zu sehen.

Tabelle 5-22: Hauptagrarpunkte Kameruns und betroffene ungebundene Nationale Straßennetz

Gruppe	Produkt	Menge (t)	Betroffenes Netz (km)
VERDERBLICH	Banane	1884169	1014
	Tomaten	410746	
	Kartoffeln	180960	
	S/Total	2.475.875	
UNVERDERBLICH	Maniok	1954911	3778
	Palmöl	125700	
	Kakao	122600	
	Kaffee	86200	
	Baumwolle	315900	
	S/Total	2.605.311	

5.3.3.2 Analyse der verschiedenen Strecken

Diese Analyse wird erst auf eine Länge von 10 km jedes Streckentyps unter Betrachtung der verschiedenen Klimazonen und der verschiedenen Verkehrsbelastungen durchgeführt. Später wird die Agrarproduktion jeder Zone in der Berechnung berücksichtigt. Nur die Alternativen UN3 und UN11 kommen infrage, da diese in der zuvor durchgeführten Untersuchung am positivsten bewertet wurden.

Der Verlauf dieser Analyse ist identisch zu der Analyse der Gewinnmaximierung. Die Verfallskurven jeder Strecke sind in der Anlage A4.1 zu sehen.

Die Transportkosten der Agrarproduktion werden als äußerlich entstehende Kosten im Rahmen dieser Analyse betrachtet. Nach der Betrachtung der Landkarte Kameruns mit den verschiedenen landwirtschaftlichen Produkten, dem ungebundenen Nationalen Netz und unter Erwägung der Produktion jeder Zone wird angenommen, dass die Verteilung der jährlichen Produktion der verderblichen Produkte (ca. 2.500.000 t) über einen Teil des Gesamtnetzes der ungebundenen Nationalen Straßen von 1014 km transportiert werden. Daraus ergibt sich eine Transportleistung von 2466 t je km, die jährlich transportiert werden müssen. Unter dieser Voraussetzung wird im Folgenden versucht, die Wirkung der Agrarproduktion jeder Zone auf die Berechnung zu berücksichtigen.

In Dörfern gibt es jede Woche einen Markttag (52 Markttage pro Jahr). Die Entwicklung der Transportkosten bis zum Markt je Straßentyp und Klimazone (3 Monate, 6 Monate und 9 Monate Regenzeit) ist in der Abbildung 5-9 zu sehen. Es wird davon ausgegangen, dass die Strecken zu 20% der Regenzeit überhaupt nicht befahrbar sind [41].

In der Tabelle 5-23 ist die Berechnung der Wirkung der verderblichen Produkte auf die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 5-23: Zusammenfassung der Berechnung der Wirkung der verderblichen Agrarprodukte je Klimazone (je km)

Dauer der Regenzeit	3 Monate (13 Markttage)	6 Monate (26 Markttage)	9 Monate (39 Markttage)
Betroffene Markttage (20 %)	2,6	5,2	7,8
Betroffene Warenmenge (t)	$123,3=1/4*20\%*2466$	$246,6=1/2*20\%*2466$	$369,9=3/4*20\%*2466$
Verderbensquote (%)	33	33	33
Kopftransportquote (%)	67	67	67
Verdorben (t)	40,7	81,4	122,1
Kosten der verdorbenen Waren (US \$), (200 US \$/t)	8140	16280	24420
Kopftransport (t)	82,6	165,2	247,8
Kosten des Kopftransports (US \$), (5 US \$ pro t-km)	413	826	1239
Anzahl der mobilisierten Personen pro km (Annahme: 2 Personen pro Tonne-Kilometer und pro Tag)	166 Pers.	331 Pers.	496 Pers.
Warenmenge außer Unbefahrbarkeit (t)	2342,7	2219,4	2096,1
Transportkosten der Waren außer Unbefahrbarkeit (US \$)	1229,92 (0,525 US \$/t-km)	1553,58 (0,700 US \$/t-km)	1834,09 (0,875 US \$/t-km)
Transportkosten der Waren (Asphalt) (US \$), (0,17 US \$/t-km)	$419,22=2466*0,17$	$419,22=2466*0,17$	$419,22=2466*0,17$
Gesamtkosten wenn die Straße nicht asphaltiert ist (Kiesstraße) (US \$)	9782,92	18659,58	27493,09
Transportkostengewinn nach Asphaltierung (US \$)	9363,70	18240,36	27073,87

Die Tabelle 5-23 verdeutlicht noch einmal, dass nach einer Asphaltierung ein Transportgewinn in Folge einer Befahrbarkeit der Straßen auch in den Regenzeiten entsteht. Die Größe dieses Gewinns ist deshalb auch entscheiden davon abhängig wie lange die Regenzeit dauert. Je länger die Regenzeit, desto größer ist auch der prognostizierte Transportgewinn. Die neugebauten Strecken werden ganzjährig benutzt und bringen der Bevölkerung deutliche Vorteile hinsichtlich Transportzeiten und –kosten. Die Agrarprodukte kommen günstig auf den Markt. Die Bevölkerung wird beim Kopftransport entlastet.

Für die drei verschiedenen Zonen wird angenommen, dass neben den verderblichen Waren jährlich ca. 2.606.000 t unverderbliche Agrarprodukte über das gesamte ungebundene Nationale Straßennetz (3778 km) in der Trockenzeit zum Markt transportiert werden müssen. Das ergibt 690 t je km, die transportiert werden müssen. Die Transportkosten pro Tonnen-Kilometer auf der Kiesstraße betragen 241,5 US \$ (0,35 US \$ pro Tonnen-Kilometer) und die Transportkosten auf der Asphaltstraße 117,3 US \$ (0,17 US \$ pro Tonnen-Kilometer). Das bedeutet, dass nach der Asphaltierung ein jährlicher Transportkostengewinn von 124,2 US \$ je km zu erwarten ist.

Da die Berechnung der entstehenden Kosten der Agrarprodukte mit HDM-4 nicht möglich ist, werden die berechneten Kosten (s. Tabelle 5-23) in die Untersuchungsergebnisse (Analyse der verschiedenen Strecken) integriert.

Die Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen unter Berücksichtigung der Wirkung des Verlusts wegen der Nicht-Asphaltierung (Straße unbefahrbar) oder des Gewinns infolge der Asphaltierung auf die Untersuchungsergebnisse jeder einzelnen Strecke in einer Zeitspanne von 20 Jahren ist in der folgenden Tabelle zu sehen.

Tabelle 5-24: Zusammenfassung der wirtschaftlichen Untersuchungen (Straßenlänge: 10 km)

Abschnitt	Alternative	Baulasträgerkostenanstieg [Mio. US \$]	Einsparung der Straßennutzerkosten [Mio. US \$]		Gewinn (+) oder Verlust (-) infolge der Transportkosten der Agrarprodukten auf Kies- oder Asphaltstraße [Mio. US \$]	Nettogegenwartswert (NPV) [Mio. US \$]
			Fahrzeugbetriebskosten	Reisekosten		
S2(V1,R1,N2)	Alt.UN3	0,50	1,64	0,86	-0,05	+1,95
	Alt.UN11	1,12	1,79	0,91	+0,03	+1,61
S5(V1,R2,N2)	Alt.UN3	0,46	1,56	0,80	-0,05	+1,85
	Alt.UN11	1,12	1,65	0,84	+0,03	+1,40
S6(V1,R2,N3)	Alt.UN3	0,46	1,56	0,80	-3,74	-1,84
	Alt.UN11	1,12	1,65	0,84	+3,65	+5,02
S8(V1,R3,N2)	Alt.UN3	0,38	1,20	0,63	-0,05	+1,41
	Alt.UN11	1,12	1,44	0,73	+0,03	+1,08
S9(V1,R3,N3)	Alt.UN3	0,38	1,20	0,63	-5,50	-4,04
	Alt.UN11	1,12	1,44	0,73	+5,42	+6,47
S11(V2,R1,N2)	Alt.UN3	0,67	3,48	1,98	-0,05	+4,73
	Alt.UN11	1,12	4,23	2,21	+0,03	+5,36
S14(V2,R2,N2)	Alt.UN3	0,58	3,35	1,89	-0,05	+4,62
	Alt.UN11	1,12	3,94	2,06	+0,03	+4,91
S15(V2,R2,N3)	Alt.UN3	0,58	3,35	1,89	-3,74	+0,93
	Alt.UN11	1,12	3,94	2,06	+3,65	+8,53
S17(V2,R3,N2)	Alt.UN3	0,44	3,17	1,73	-0,05	+4,41
	Alt.UN11	1,23	3,53	1,84	+0,03	+4,17
S18(V2,R3,N3)	Alt.UN3	0,44	3,17	1,73	-5,50	-1,04
	Alt.UN11	1,23	3,53	1,84	+5,42	+9,56
S20(V3,R1,N2)	Alt.UN3	0,85	5,05	2,90	-0,05	+7,04
	Alt.UN11	1,12	6,76	3,58	+0,03	+9,25
S23(V3,R2,N2)	Alt.UN3	0,70	4,95	2,84	-0,05	+7,05
	Alt.UN11	1,12	6,34	3,35	+0,03	+8,59
S24(V3,R2,N3)	Alt.UN3	0,70	4,95	2,84	-3,74	+3,36
	Alt.UN11	1,12	6,34	3,35	+3,65	+12,21
S26(V3,R3,N2)	Alt.UN3	0,48	4,77	2,72	-0,05	+6,95
	Alt.UN11	1,27	5,78	3,03	+0,03	+7,58
S27(V3,R3,N3)	Alt.UN3	0,48	4,77	2,72	-5,50	+1,50
	Alt.UN11	1,27	5,78	3,03	+5,42	+12,97
Summe		25,42	106,31	57,36	-0,69	+137,59

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Nettogegenwartswerts (NPV) als Funktion der Baulasträgerkosten jeder Strecke (Abschnittslänge: 10 km) unter Berücksichtigung der Transportkosten der Waren, wenn die Straße nicht befahrbar ist, dargestellt. Die Bezeichnung 3 oder 11 gilt für die Alternative UN3 oder UN11. Die Betrachtungsperiode beträgt 20 Jahre.

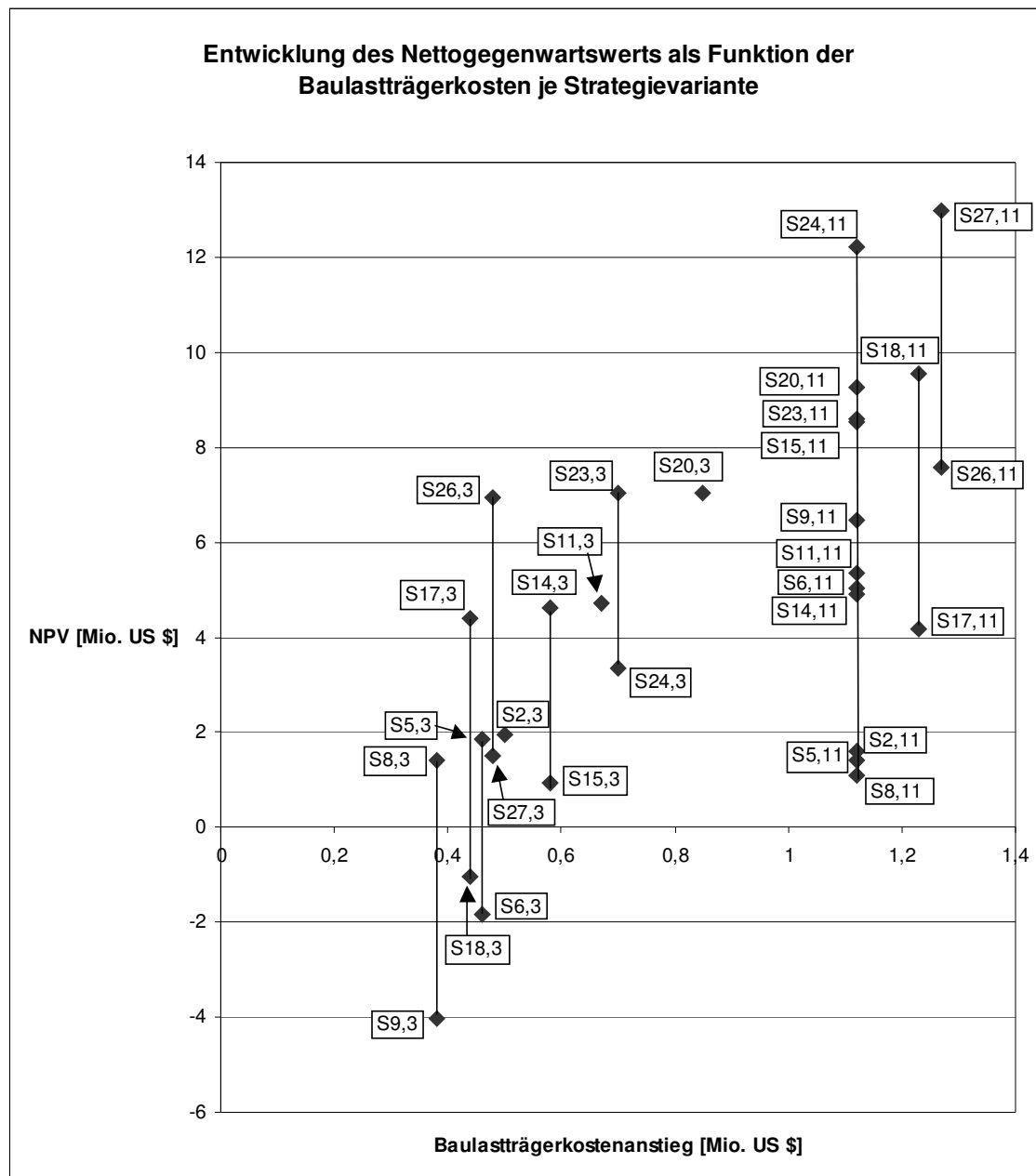


Abbildung 5-17: Entwicklung des NPV als Funktion des Baulastträgerkosten je Variante (Länge: 10km)

5.3.3.3 Reihenfolge der Asphaltierung des ungebundenen Nationalen Netzes

Die Reihenfolge der Asphaltierung fängt mit der Strecke, die den Höchsten NPV hat (S27) an, und endet mit der Strecke mit niedrigstem NPV (S8). Die Strecken mit verderblichen Produkten haben mehr Verlust, und sollten am Anfang asphaltiert werden. Ein entscheidendes Kriterium ist die Verkehrsbelastung, da die Asphaltierung auf Strecken mit mehr Verkehr beginnen sollte. Die Länge, die Streckenkorrespondenz zur Tabelle 5-21 und die Verkehrsbelastung jedes Straßenabschnitts der ungebundenen Nationalen Straßen Kameruns ist in der folgenden Tabelle 5-25 und Abbildung 5-18 zu sehen.

Tabelle 5-25: Verschiedene Straßenabschnitte des ungebundenen Nationalen Netzes

Verschiedene Zonen	Straßenabschnitte (Identität)	Streckenkorrespondenz	Straßenlänge [km]
Zone I (3 Monate Regen)	N1A	S2 (V1: Verkehrsbelastung: Schwach: 175 Fz/24h)	73
	N14	S20 (V3: Verkehrsbelastung: Hoch: 525 Fz/24h)	36
	N13	S2 (V1)	271
	N013A	S2 (V1)	53
Zone II (6 Monate Regen)	N1 (AD)	S23 (V3)	232
	N1(CE)	S24 (V3)	126
	N1(ES)	S23 (V3)	89
	N6 (AD)	S5 (V1)	260
	N015	S5 (V1)	405
	N15A	S5 (V1)	155
	N10	S14 (V2: Verkehrsbelastung: Mittel: 350 Fz/24h)	390
	N3A	S5 (V1)	34
	N6(NW)	S24 (V3)	24
	N6(OU)	S24 (V3)	66
	N11	S24 (V3)	319
	N2	S24 (V3)	28
	N2A	S24 (V3)	32
	N7	S5 (V1)	74
	N9	S5 (V1)	338
	N17	S5 (V1)	167
	N17A	S5 (V1)	82
	N17B	S5 (V1)	105
Zone III (9 Monate Regen)	N6 (SW)	S27 (V3)	135
	N6A	S27 (V3)	30
	N8	S27 (V3)	100
	N16	S18 (V2)	154

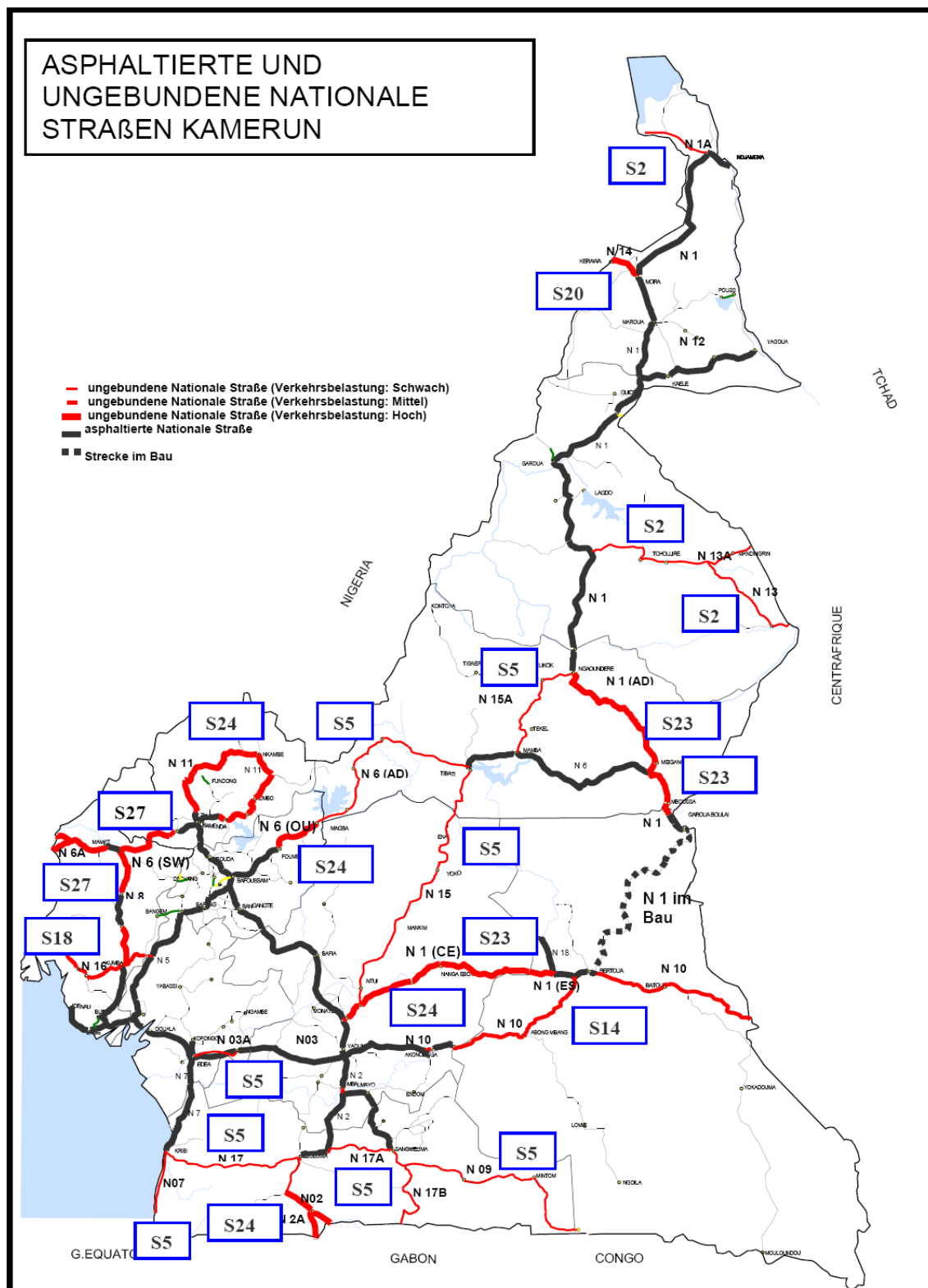


Abbildung 5-18: Nationales Straßennetz Kameruns und Streckenkorrespondenz

Bei der Betrachtung der Abbildung 5-18 und der Tabelle 5-25 fällt auf, dass für die Asphaltierung des ungebundenen Nationalen Straßennetzes Kameruns die in der Abbildung 5-19 dargestellte Reihenfolge vorgesehen werden kann. Die ersten Strecken in der Reihe berücksichtigen verderbliche Produkte und mehr Verkehr.

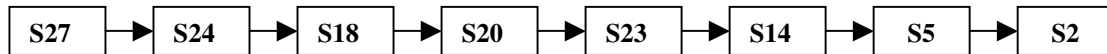


Abbildung 5-19: Reihenfolge der Asphaltierung der verschiedenen Strecken

Wenn zwei Straßenabschnitte in die gleiche Gruppe gehören, sollte die Bedeutung der Strecke (Gesamtproduktion des Gebiets, Transitstrecke, Verbindung zweier Provinzen oder Regionen) berücksichtigt werden. Die Kosten und Nutzen jedes Abschnitts werden unter Berücksichtigung der Kosten von 10 km Straße und der Straßenlänge berechnet.

In der folgenden Tabelle sind die Reihenfolge sowie die volkswirtschaftlichen Kosten der Asphaltierung jedes Abschnitts des Netzes für eine Betrachtungsperiode von 20 Jahren zu sehen (s. auch Tabelle 5-23 bis Tabelle 5-25).

Tabelle 5-26: Reihenfolge und volkswirtschaftliche Kosten infolge der Asphaltierung (Betrachtungsperiode: 20 Jahre)

Reihenfolge	Identität	Länge	Baulast-träger-kosten-anstieg	Einsparung der Straßen-nutzer-kosten	Kopf-trans-port	Verlust (ver-doben)	Kosten (ohne Asphalt)	Kosten (Asphalt)	Trans-portkosten-gewinn nach der Asphal-tierung	Netto Gewinn	Gesamt-Bau- und Erhal-tungs-kosten
		[km]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]	[Mio. \$]
ZONE III											
1 (S27)	N6A	30	3,81	26,43	0,75	14,66	16,50	0,26	16,24	38,86	8,22
2 (S27)	N6 (SW)	135	17,15	118,94	3,35	65,94	74,24	1,14	73,10	174,89	36,40
3 (S27)	N8	100	12,70	88,10	2,48	48,84	54,99	0,84	54,15	129,55	27,41
ZONE II											
4 (S24)	N1(CE)	126	14,12	305,24	2,09	41,03	47,03	1,06	45,97	337,09	20,79
5 (S24)	N6 (OU)	66	7,39	63,96	1,10	21,49	24,64	0,56	24,08	80,65	10,89
6 (S24)	N2A	32	3,57	31,01	0,53	10,42	11,95	0,27	11,68	39,12	5,28
7 (S24)	N2	28	3,14	27,13	0,47	9,12	10,45	0,24	10,21	34,20	4,62
8 (S24)	N11	319	35,73	309,11	5,27	103,87	119,05	2,68	116,37	389,75	52,64
9 (S24)	N6 (NW)	24	2,69	14,40	0,40	7,82	8,96	0,21	8,75	20,46	3,96
ZONE III											
10 (S18)	N16	154	18,95	208,09	3,82	75,22	84,68	1,30	83,38	272,52	42,20
ZONE I											
11 (S20)	N014	36	4,03	37,22	0,00	0,00	0,18	0,09	0,09	33,28	5,94
ZONE II											
12 (S23)	N01 (ES)	89	9,97	86,24	0,00	0,00	0,43	0,21	0,22	76,49	14,69
13 (S23)	N1 (AD)	232	25,98	224,81	0,00	0,00	1,13	0,55	0,58	199,41	38,28
14 (S14)	N10	390	43,68	234,00	0,00	0,00	1,89	0,92	0,97	191,29	64,35
15 (S5)	N6(AD)	260	29,12	64,74	0,00	0,00	1,26	0,61	0,65	36,27	42,9
16 (S5)	N15A	155	17,36	38,59	0,00	0,00	0,75	0,37	0,38	21,61	25,58
17 (S5)	N17A	82	9,18	20,42	0,00	0,00	0,40	0,20	0,20	11,44	13,53
18 (S5)	N17B	105	11,76	26,15	0,00	0,00	0,51	0,25	0,26	14,65	17,33
19 (S5)	N7	74	8,29	18,43	0,00	0,00	0,36	0,18	0,18	10,32	12,21
20 (S5)	N17	167	18,70	41,58	0,00	0,00	0,81	0,40	0,41	23,29	27,56
21 (S5)	N9	338	37,86	84,16	0,00	0,00	1,64	0,80	0,84	47,14	55,77
22 (S5)	N15	405	45,36	100,85	0,00	0,00	1,96	0,96	1,00	56,49	66,83
23 (S5)	N3A	34	3,81	8,47	0,00	0,00	0,17	0,08	0,09	4,75	5,61
ZONE I											
24 (S2)	N013	271	30,35	73,17	0,00	0,00	1,31	0,64	0,67	43,49	44,72
25 (S2)	N013A	53	5,94	14,31	0,00	0,00	0,26	0,13	0,13	8,50	8,74
26 (S2)	N01A	73	8,18	19,71	0,00	0,00	0,36	0,18	0,18	11,71	12,05
SUMME		3778	428,82	2285,26	20,26	398,41	465,91	15,13	450,78	2307,22	668,50

Die Tabelle 5-26 zeigt, dass die Gesamtbau-, Erhaltungs- und Unterhaltungskosten der Asphaltierung des ungebundenen Nationalen Netzes Kameruns (3778 km) in einer Zeitspanne von 20 Jahren 668,50 Mio. US \$ beträgt. Das sind ca. 87,30 Mio. mehr als die Gesamtbau- und Erhaltungskosten der Alternative UN11 (Bauzeit 10 Jahre) und

117,20 Mio. US \$. mehr als die Kosten der Alternative UN11 für die Bauzeit von 15 Jahren. Der Grund dafür liegt darin, dass die Gesamtbau- und Unterhaltungskosten der abschnittswisen Asphaltierung die Kosten aller Strecken in einer Zeitspanne von 20 Jahren berücksichtigt. Das ist aber nicht der Fall bei der Bauzeit von 10 oder 15 Jahren, weil die Strecken, die später asphaltiert werden, weniger Unterhaltungs- und Erhaltungskosten bedeuten. Außerdem werden im Rahmen der Strategieberanalyse des Gesamtnetzes die Einzelheiten jeder Strecke (Klimazone) nicht berücksichtigt. Deswegen sollte vor der Asphaltierung versucht werden, eine Projektanalyse unter Berücksichtigung der genauen Daten jedes Straßenabschnitts durchzuführen. Die Reihenfolge und die Bauzeit der Asphaltierung spielen eine entscheidende Rolle, weil die ersten Strecken die asphaltiert sind, auch erhalten werden müssen (Verfüllen von Schlaglöchern, Oberflächenbehandlung oder Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes).

Der Gesamtgewinn infolge der Asphaltierung beträgt 2307,22 Mio. US \$ in einer Zeitspanne von 20 Jahren. Dieser Gewinn resultiert aus der Einsparung der Straßennutzerkosten und aus dem Transportkostengewinn infolge der Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Netz Kameruns. Der Gewinn kann zur Verbesserung der Lebensqualität der Bevölkerung führen. Dieser Gesamtgewinn zeigt, dass die Kosten für eine sachgerechte Unterhaltung, Erhaltung und den Umbau des Netzes im Land erwirtschaftet werden können.

5.4 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Bei der Ausgabe des Unterhaltungsprogramms (s. Tabelle A3-1, Anlage A3.1) werden nur die Repräsentativabschnitte dargestellt, bei denen Eingreifkriterien erreicht bzw. überschritten sind und die Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Da bei allen 14 Repräsentativabschnitten die laufenden Unterhaltungsmaßnahmen gleichermaßen durchgeführt werden, sind Abschnitte, in denen keine weitere Unterhaltungsmaßnahme notwendig ist, in der Tabelle nicht aufgeführt.

Die Straßenabschnitte mit ungebundenen oberen Schichten sollen jedes Jahr mindestens einmal unterhalten werden. Obwohl sie eine niedrige Verkehrsbelastung haben, ist es trotzdem sehr wichtig, diese Abschnitte mindestens einmal in der Trockenzeit zu unterhalten, da sie sonst in der Regenzeit unbefahrbar werden. Trotz Unterhaltung können diese Strecken in der Regenzeit schwer befahrbar sein.

Bei den Analysen mit und ohne Budgetbegrenzung ist der mittlere IRI für alle Straßenabschnitte außer den Repräsentativabschnitten der ungebundenen Nationalen Straßen gleich. Bei dieser Strategieberanalyse ging es um die Gewinnmaximierung (NPV). Aus diesem Grund führt eine Begrenzung des Budgets zu einer Verschlechterung des Straßenzustandes. Das ist eine Schwäche des HDM-4-Programms, da bei geringen finanziellen Mitteln das Budget auf alle Strecken verteilt werden sollte und eben nicht nur auf die rentablen Strecken.

Die gewählten Alternativen für die asphaltierten Straßen sind die Alternativen PN1, PN2 oder PN4 (bzw. PP1, PP2, PP4 und PD1, PD2 PD4), die die Erhaltungsmaßnahme „Erneuerung der Deckschicht“ umfassen (s. Tabelle 5-3 und Tabelle 5-11). Wenn diese Erhaltungsmaßnahme nicht rechtzeitig durchgeführt wird, wird eine spätere Straßenrekonstruktion teurer.

Die Analyse mit Maximierung des Straßenzustandes zeigt, dass eine kleine Verbesserung des IRI des Repräsentativabschnitts NPRBC (3,94 auf 3,34) zu einer großen Kostenanhebung (383,048 auf 1.512,003 Millionen US \$) führt. Das bedeutet, dass für jeden Straßenabschnitt die richtigen Alternativmaßnahmen unter Betrachtung der Gesamtbau- und Erhaltungskosten, des mittleren IRI und der NPV durchgeführt werden sollten.

Nach Betrachtung der Untersuchungsergebnisse aller Strategievarianten, lassen sich die in Tabelle 5-27 aufgeführten Erhaltungsalternativen (ohne Neubaumaßnahmen) vorschlagen. Die Wirtschaftlichkeit (NPV) und der Straßenzustand (IRI) gelten gleichzeitig als Wahlkriterium. Der NPV wird als Prioritätskriterium vorgeschlagen. Bevor eine Alternativmaßnahme gewählt wird, wird jedoch überprüft, ob der IRI in einem guten Bereich liegt. Für die ungebundenen Strecken sollte auch überprüft werden, ob die gewählte Alternative die Erhaltungsmaßnahmen mit Wiederherstellung der Straßenoberfläche enthält. Ohne diese Erhaltungsmaßnahme wird die Kiesdecke durch Materialverlust nicht erhalten, und diese Strecken werden damit sehr schwer befahrbar in der Regenzeit.

Das Ziel ist die Erhaltung des Straßennetzes in einem brauchbaren Zustand mit einem begrenztem Budget. Die rein wirtschaftliche Analyse soll überschritten werden, um in Bezug auf die Straßenverwaltung zu überlegen, welche Strategiemassnahme am besten zu jedem Repräsentativabschnitt passt.

Für die asphaltierten Strecken sind die gewählten Alternativen der Analyse mit Budgetbegrenzung zu empfehlen, weil sie den höchsten NPV haben und die IRI-Werte sich kaum ändern im Vergleich zur Analyse mit Maximierung des Straßenzustandes.

Für die ungebundenen Nationalen Straßen (NUR) ist die Alternative UN3 als Unterhaltungsmaßnahme zu empfehlen, weil sie den zweitbesten NPV hat und außerdem günstiger als die durch das HDM-4-Programm gewählte Alternative UN4 (374,918 statt 396,300 Millionen US \$) ist. Die Veränderung des mittleren IRI ist klein und die Straße bleibt in gutem Zustand. Die Unterhaltungsmaßnahme „ungebundene Straßenoberfläche Einebnen (*Grading*)“ wird damit zweimal (am Anfang und am Ende der Trockenzeit) statt viermal jährlich durchgeführt.

Für die ungebundenen Provinz- und Departement- Straßen ist die durch das HDM-4-Programm gewählte Alternative (UPD3) nicht zu empfehlen. Obwohl sie den höchsten NPV und den niedrigsten mittleren IRI hat, enthält sie keine Erhaltungsmaßnahmen mit Wiederherstellung der Straßenoberfläche. Für diese Strecken sollten die Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative UPD4 (zweitbeste

Lösung der Analyse mit Gewinnmaximierung) durchgeführt werden. Mit dieser Alternative ist es möglich, die Kiesdeckschicht zu erhalten.

Die Zusammenfassung des Baulastträgerkostenanstiegs, der Einsparung der Straßennutzerkosten sowie die wirtschaftlichen Indikatoren der vorgeschlagenen Alternativen sind in der Tabelle 5-27 zu sehen.

Tabelle 5-27: Zusammenfassung der wirtschaftlichen Indikatoren der vorgeschlagenen Alternativen

Vorgeschlagene Alternative (Abschnitt)	Baulastträgerkostenanstieg [Mio. US \$]	Einsparung der Straßennutzerkosten		Nettogegenwartswert (NPV) [Mio. US \$]
		Fahrzeugbetriebskosten [Mio. US \$]	Reisekosten [Mio. US \$]	
Alt.PN2 (NPRGC)	2,83	43,45	29,36	69,98
Alt.PN1 (NPRFC)	138,48	2.077,85	1.371,70	3.311,07
Alt.PN1 (NPRPC)	98,97	1.475,45	984,39	2.360,88
Alt.PN4 (NPRBC)	202,12	3.197,02	2.246,89	5.241,80
Alt.PP1) (PPRFC)	11,03	88,30	43,92	121,19
Alt.PP1) (PPRPC)	19,64	164,78	83,13	228,27
Alt.PP1) (PPRBC)	79,55	758,82	405,65	1.084,93
Alt.PD1) (DPRFC)	4,98	11,67	4,49	11,19
Alt.PD1) (DPRPC)	1,33	4,09	1,78	4,54
Alt.PD4) (DPRBC)	36,88	149,45	80,36	192,93
Alt.UN3) (NUR-1)	77,48	247,34	129,15	299,01
Alt.UN3) (NUR-2)	23,74	172,29	94,17	242,72
Alt.UN3) (NUR-3)	56,75	240,05	136,71	320,01
Alt.UPD4 (PDUR)	185,23	195,07	72,44	82,29

Die vorgeschlagenen Strategiealternativen sind die besten und günstigsten Lösungen für die Unterhaltung sowie Erhaltung des Straßennetzes. Die entsprechenden Verfallskurven sind in der Abbildung 5-20 bis Abbildung 5-22 dargestellt.

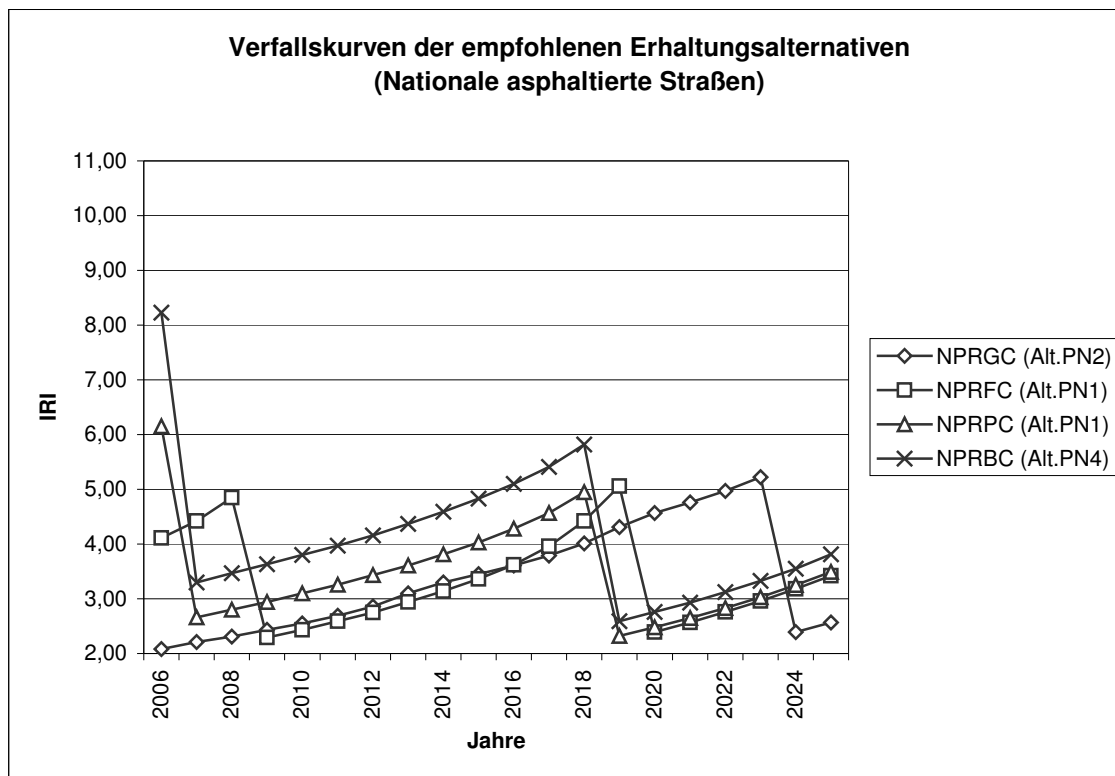


Abbildung 5-20: Verfallskurven der empfohlenen Erhaltungsalternativen (NPR)

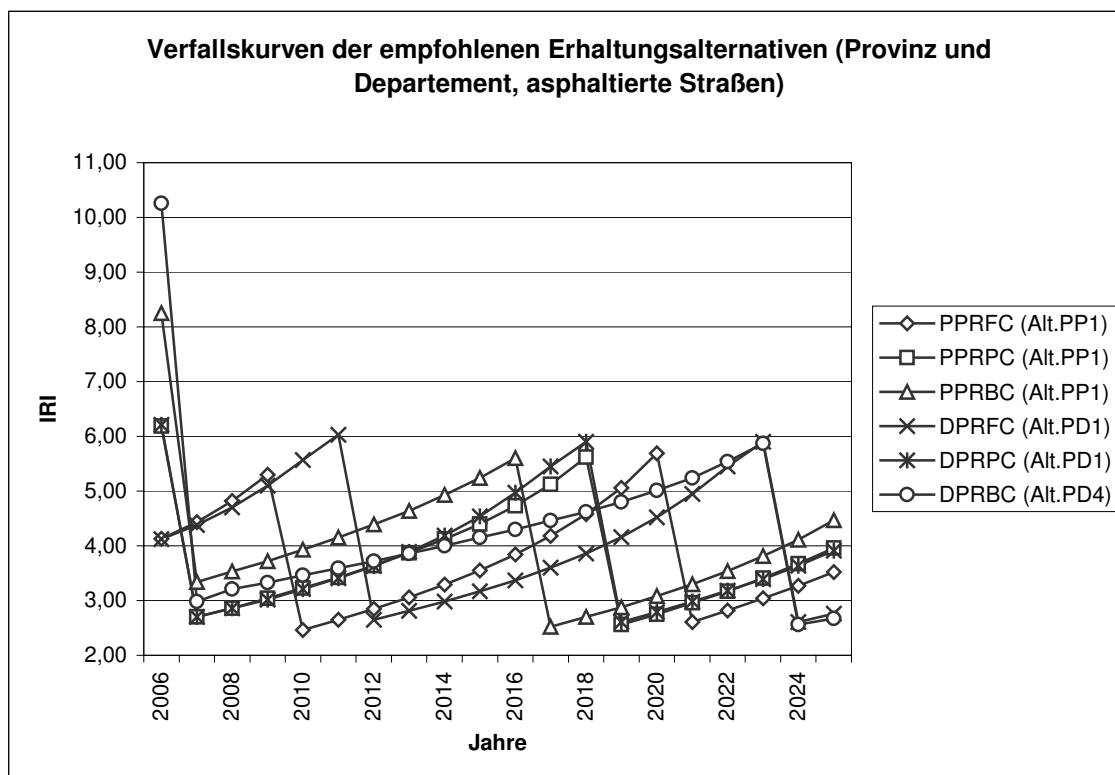


Abbildung 5-21: Verfallskurven der empfohlenen Erhaltungsalternativen (PPR und DPR)

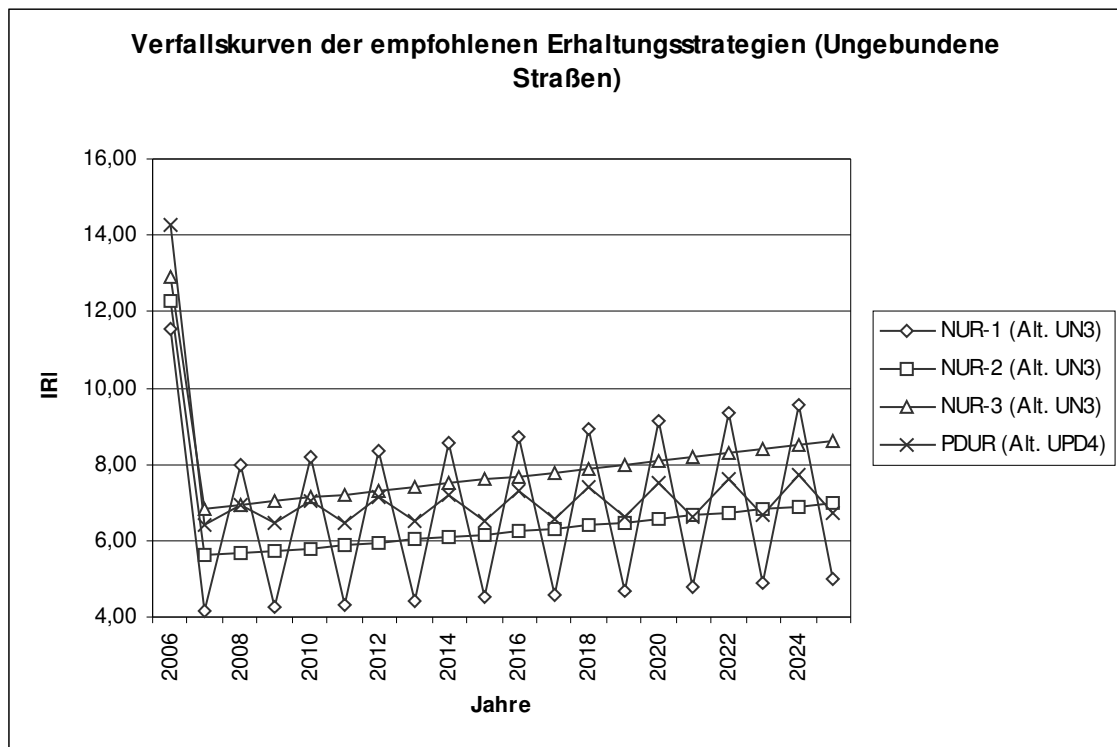


Abbildung 5-22: Verfallskurven der empfohlenen Erhaltungsalternativen (NUR und PDUR)

Das Land kann somit sein Gesamtnetz (ohne Land- und Stadtstraßen) mit Gesamtkosten von ca. 2011,215 Millionen US \$ in einer Zeitspanne von 20 Jahre in einem brauchbaren Zustand unterhalten und erhalten. Das entspricht einem jährlichen Budget (einschließen Routinemaßnahmenkosten) von ca. 100,570 Millionen US \$.

Was die Untersuchung über die empfohlene Erhaltungsstrategie für die ungebundenen Nationalen Straßen (Alternative UN3) angeht, wurde ermittelt, dass alle zwei Jahre (Repräsentativabschnitt NUR-1) oder jedes Jahr (Repräsentativabschnitte NUR-2 und NUR-3) 20 mm Kiesmaterial ersetzt werden müssen, das ergibt bei einer Kiesschicht von 150 mm Dicke eine Kiesaufbringungsmenge von 120 m³ pro km. Diese Strecken werden in der Regenzeit schwer befahrbar und manchmal gar nicht befahrbar, was zu einer Erhöhung der Transportkosten führen wird.

Die Analyse zur Erhaltung aus betriebstechnischer Sicht unrentabler ungebundener nationaler Strecken zeigt, dass das Problem der schweren Befahrbarkeit dieser Strecken in der Regenzeit durch die Verbesserungsmaßnahme der Alternative UN11: „Asphaltierung (20mm Decke), Verfüllen von Schlaglöchern, Oberflächenbehandlung, und Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes falls $IRI \geq 8$ “ gelöst werden kann. Die Analyse zur stufenweisen Asphaltierung der ganzen ungebundenen Nationalen Straßen zeigt, dass im Vergleich zur Alternativen UN12 („Asphaltierung- 30mm Decke, Verfüllen von Schlaglöchern, Oberflächenbehandlung, und Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes falls $IRI \geq 8$ “), UN13 („Asphaltierung- 40mm Decke, Verfüllen von Schlaglöchern, Oberflächenbehandlung, und Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes falls $IRI \geq 8$ “) und UN14 („Asphaltierung- 50mm Decke,

Verfüllen von Schlaglöchern, Oberflächenbehandlung, und Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes falls $IRI \geq 8$ “) die Durchführung dieser Alternativemaßnahme auf den ungebundenen Nationalen Straßen die optimale Strategie (höchster NPV) ist.

Bei der Ausführung der Strategiemassnahmen im HDM-4-Programm ist aufgefallen, dass die Durchführung der Neubau- oder Ausbaumaßnahmen im Programm auf fünf Jahre begrenzt ist. Die Strategiemassnahmen der Alternative UN11 werden allerdings über zehn und fünfzehn Jahren durchgeführt. Nach der Analyse mit einer Bauzeit von zehn und fünfzehn Jahren fällt auf, dass die Gesamtbau- und Erhaltungskosten dieser Strecken nach den Verbesserungsmaßnahmen der Alternative UN11 mehr als die Hälfte des gesamten Straßenbau- und Erhaltungsbudgets Kameruns (ca. 60 Mio. US \$) sind. Das Land kann das ohne internationale Hilfe nicht leisten. Aus diesem Grund sind andere Überlegungen notwendig, um diese Maßnahmen zu verwirklichen.

Das abschnittsweise Asphaltieren von ungebundenen Strecken führt zur Asphaltierung des gesamten ungebundenen Nationalen Netzes Kameruns in einer bestimmten Reihenfolge. Die Strecken auf denen verderbliche Produkte und mehr Verkehr transportiert werden, sind rentabler, d.h. die Asphaltierung der Strecken sollte hier beginnen. Die Strecken mit unverderblichen Produkten und schwacher Verkehrsbelastung dagegen können am Ende asphaltiert werden. Auch die geographische Lage des Abschnitts (Transitstrecke, Verbindung zwischen Provinzen oder Regionen) spielt eine Rolle für die Entscheidung über die Reihenfolge der Asphaltierung. Die Besonderheit jeder Strecke wird vor der Asphaltierung berücksichtigt. Von daher ist die abschnittsweise Asphaltierung die beste Lösung für die Erhaltung aus betriebstechnischer Sicht unrentabler ungebundener Nationaler Strecken.

Die Gesamtbau- und Erhaltungskosten der Asphaltierung des ungebundenen Nationalen Netzes Kameruns (3778 km) betragen 668,50 Mio. US \$ und der Gesamtgewinn infolge der Asphaltierung beträgt 2307,22 Mio. US \$ (s. Tabelle 5-26) in einer Zeitspanne von 20 Jahren.

Folgende Bauplanung wird als ideale Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahme („*ideal maintenance*“) für das Land vorgeschlagen (s. Tabelle 5-28).

Tabelle 5-28: Vorgeschlagene Bauplanung des Gesamtnetzes (von 2006 bis 2025)

Jahr	Straßenabschnitt	Länge (km)	Baumaßnahmen	Baukosten [Mio. \$]	Kumulative Kosten [Mio. \$]
2006	<i>National Paved Roads Good Condition (NPRGC)</i>	29	Oberflächenbehandlung	1,62	605,63
	<i>National Paved Roads Poor Condition (NPRPC)</i>	707	Erneuerung der Deckschicht	94,03	
	<i>National Paved Roads Bad Condition (NPRBC)</i>	1440	Erneuerung der Deckschicht	191,52	
	<i>Provincial Paved Roads Poor Condition (PPRPC)</i>	140	Erneuerung der Deckschicht	18,62	
	<i>Provincial Paved Roads Bad Condition (PPRBC)</i>	538	Erneuerung der Deckschicht	71,55	
	<i>Departemental Paved Roads Poor Conditions</i>	11	Erneuerung der Deckschicht	1,25	
	<i>Departemental Paved Roads Bad Conditions</i>	291	Erneuerung der Deckschicht	33,17	
	Abschnitte N6A und N6 (SW) – NUR	165	Asphaltierung	20,13	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	43,17	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-2 und NUR-3)	1560	Regravelling at 130mm	34,19	
	<i>Provincial and Departemental Unpaved Roads</i>	5925	Regravelling at 70mm	96,38	
2007	Abschnitte N8 und N1 (CE) - NUR	226	Asphaltierung	27,58	637,97
	Nationale Unpaved Roads (NUR-2 und NUR-3)	1334	Regravelling at 130mm	4,76	
2008	<i>National Paved Roads Fair Condition (NPRFC)</i>	1210	Erneuerung der Deckschicht	160,93	864,43
	Abschnitte N6 (OU), N2A und N2	126	Asphaltierung	15,38	
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,25	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-2 und NUR-3)	1208	Regravelling at 130mm	4,15	
	<i>Provincial. and Departemental. Unpaved Roads</i>	5925	Regravelling at 70mm	32,75	
2009	<i>Provincial Paved Roads Fair Condition (PPRFC)</i>	108	Erneuerung der Deckschicht	14,36	921,26
	Abschnitt N11 (NUR)	319	Asphaltierung	38,92	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-2 und NUR-3)	889	Regravelling at 130mm	3,55	
2010	Abschnitte N6 (NW), N16, N14 und N1 (ES)	303	Asphaltierung	36,97	1.006,85
	Nationale Unpaved Roads (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,36	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-2 und NUR-3)	586	Regravelling at 130mm	2,37	
	<i>Provincial and Departemental. Unpaved Roads</i>	5925	Regravelling at 70mm	32,89	
2011	<i>Departemental Paved Roads Fair Conditions</i>	73	Erneuerung der Deckschicht	8,32	1.044,98
	Abschnitt N1 (AD) – (NUR)	232	Asphaltierung	28,30	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-2 und NUR-3)	390	Regravelling at 130mm	1,51	
2012	Abschnitt N10 (NUR)	390	Asphaltierung	47,58	1.138,85
	Nationale Unpaved Roads (NUR-1)	2017	Regravelling at 130mm	13,26	
	<i>Provincial and Departemental. Unpaved Roads</i>	5925	Regravelling at 70mm	33,028	
2013	<i>National Paved Roads Good Condition (NPRGC)</i>	29	Oberflächenbehandlung	1,62	1.175,82
	Abschnitt N6 (AD)- (NUR)	260	Asphaltierung	31,72	
	Abschnitte N6A und N6	165	Oberflächenbehandlung	3,63	
2014	Abschnitte N15A und N17A	237	Asphaltierung	28,92	1.252,98
	Abschnitte N8 und N1 (CE)	226	Oberflächenbehandlung	4,98	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-1)	1.520	Regravelling at 130mm	10,08	
	<i>Provincial and Departemental Unpaved Roads</i>	5.925	Regravelling at 70mm	33,18	
2015	Abschnitte N17B, N7 und N17 (NUR)	346	Asphaltierung	42,21	1.297,96
	Abschnitte N6 (OU), N2A und N2	126	Oberflächenbehandlung	2,77	
2016	<i>Provincial Paved Roads Bad Condition</i>	538	Erneuerung der Deckschicht	71,55	1.489,88
	<i>Departemental Paved Roads Bad Conditions</i>	291	Erneuerung der Deckschicht	33,17	
	Abschnitt N9 (NUR)	338	Asphaltierung	41,24	
	Abschnitt N11	319	Oberflächenbehandlung	7,02	
	Nationale Unpaved Roads (NUR-1)	836	Regravelling at 130mm	5,60	
	<i>Provincial. and Departemental. Unpaved Roads</i>	5925	Regravelling at 70mm	33,34	
2017	Abschnitt N15-1 (NUR)	205	Asphaltierung	25,01	1.521,56
	Abschnitte N6 (NW), N16, N14 und N1 (ES)	303	Oberflächenbehandlung	6,67	

Fortsetzung der Tabelle 5-28: Vorgeschlagene Bauplanung des Gesamtnetzes

Jahr	Straßenabschnitt	Länge (km)	Baumaßnahmen	Baukosten [Mio. \$]	Kumulative Kosten [Mio. \$]
2018	<i>National Paved Roads Poor Condition</i>	707	Erneuerung der Deckschicht	94,03	1.896,83
	<i>National Paved Roads Bad Condition (NPRBC)</i>	1.440	Erneuerung der Deckschicht	191,52	
	<i>Provincial Paved Roads Poor Condition</i>	140	Erneuerung der Deckschicht	18,62	
	<i>Departmental Paved Roads Poor Conditions</i>	11	Erneuerung der Deckschicht	1,25	
	Abschnitte N15-2 und N3A	234	Asphaltierung	28,55	
	Abschnitt N1 (AD)	232	Oberflächenbehandlung	5,10	
	<i>Nationale Unpaved Roads (NUR-1)</i>	397	<i>Regravelling at 130mm</i>	2,69	
	<i>Provincial. and Departmental. Unpaved Roads</i>	5925	<i>Regravelling at 70mm</i>	33,51	
2019	<i>National Paved Roads Good Condition</i>	29	Oberflächenbehandlung	1,62	2.101,03
	<i>National Paved Road Fair Condition (NPRFC)</i>	1.210	Erneuerung der Deckschicht	160,93	
	Abschnitt N13 (NUR)	271	Asphaltierung	33,07	
	Abschnitt N10	390	Oberflächenbehandlung	8,58	
2020	<i>Provincial Paved Roads Fair Condition</i>	108	Erneuerung der Deckschicht	14,36	2.173,80
	Abschnitte N13A und N1A	126	Asphaltierung	15,38	
	Abschnitte N6A, N6 (SW) und N6 (AD)	425	Oberflächenbehandlung	9,35	
	<i>Provincial and Departmental. Unpaved Roads</i>	5.925	<i>Regravelling at 70mm</i>	33,68	
2021	Abschnitte N8, N15A, und N17A	337	Oberflächenbehandlung	7,42	2.181,22
2022	N1 (CE), N6 (OU), N2A, N2, N17B, N7, N17	598	Oberflächenbehandlung	13,16	2.228,24
	<i>Provincial. and Departmental. Unpaved Road</i>	5.925	<i>Regravelling at 70mm</i>	33,86	
2023	<i>National Paved Roads Good Condition</i>	29	Erneuerung der Deckschicht	3,86	2.288,92
	<i>Departmental Paved Roads Fair Conditions</i>	73	Erneuerung der Deckschicht	8,32	
	Abschnitte N9 und N11	657	Oberflächenbehandlung	14,45	
	<i>Provincial. and Departmental. Unpaved Road</i>	5.925	<i>Regravelling at 70mm</i>	34,05	
2024	Abschnitte N6A und N6 (SW)	165	Rekonstruktion	17,99	2.318,09
	Abschnitte N6 (NW), N16, N14, N1 (ES), N15-1	508	Oberflächenbehandlung	11,18	
2025	Abschnitt N8	100	Rekonstruktion	10,90	2.334,14
	Abschnitte N15-2 und N3A	234	Oberflächenbehandlung	5,15	

Bei der Betrachtung der Tabelle 5-28, fällt auf, dass das Land für eine „*ideal Maintenance*“ seines Gesamtnetzes 2.334,14 Mio. US \$ in einer Zeitspanne von 20 Jahren braucht. Dabei wird die Asphaltierung der ungebundenen Nationalen Strecken abschnittsweise von 2006 bis 2020 (15 Jahre) durchgeführt.

Unter Berücksichtigung der in der Tabelle 5-28 dargestellten Bauplanung ist die Entwicklung der jährlichen Kosten der verschiedenen Analysenvarianten der Repräsentativabschnitte NUR (Analyse mit HDM-4-Programm und Analyse mit abschnittswisen Asphaltierung) in der folgenden Abbildung (Abbildung 5-23) zu sehen.

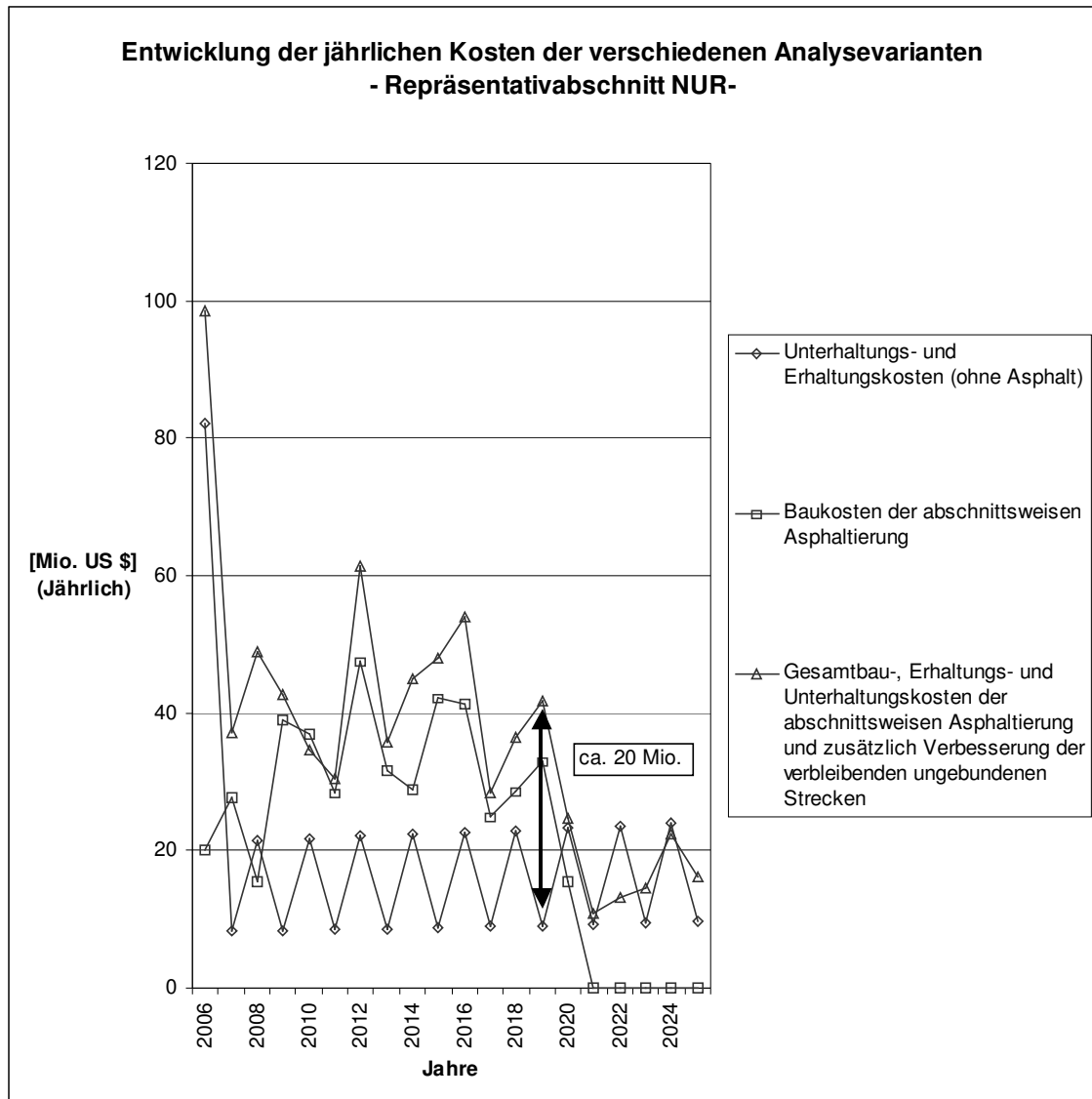


Abbildung 5-23: Entwicklung der jährlichen Kosten der verschiedenen Analysevarianten (NUR)

Die Entwicklung der jährlichen Straßennutzerkosten der verschiedenen Analysevarianten der ungebundenen Nationalen Straßen ist in der Abbildung 5-24 dargestellt.

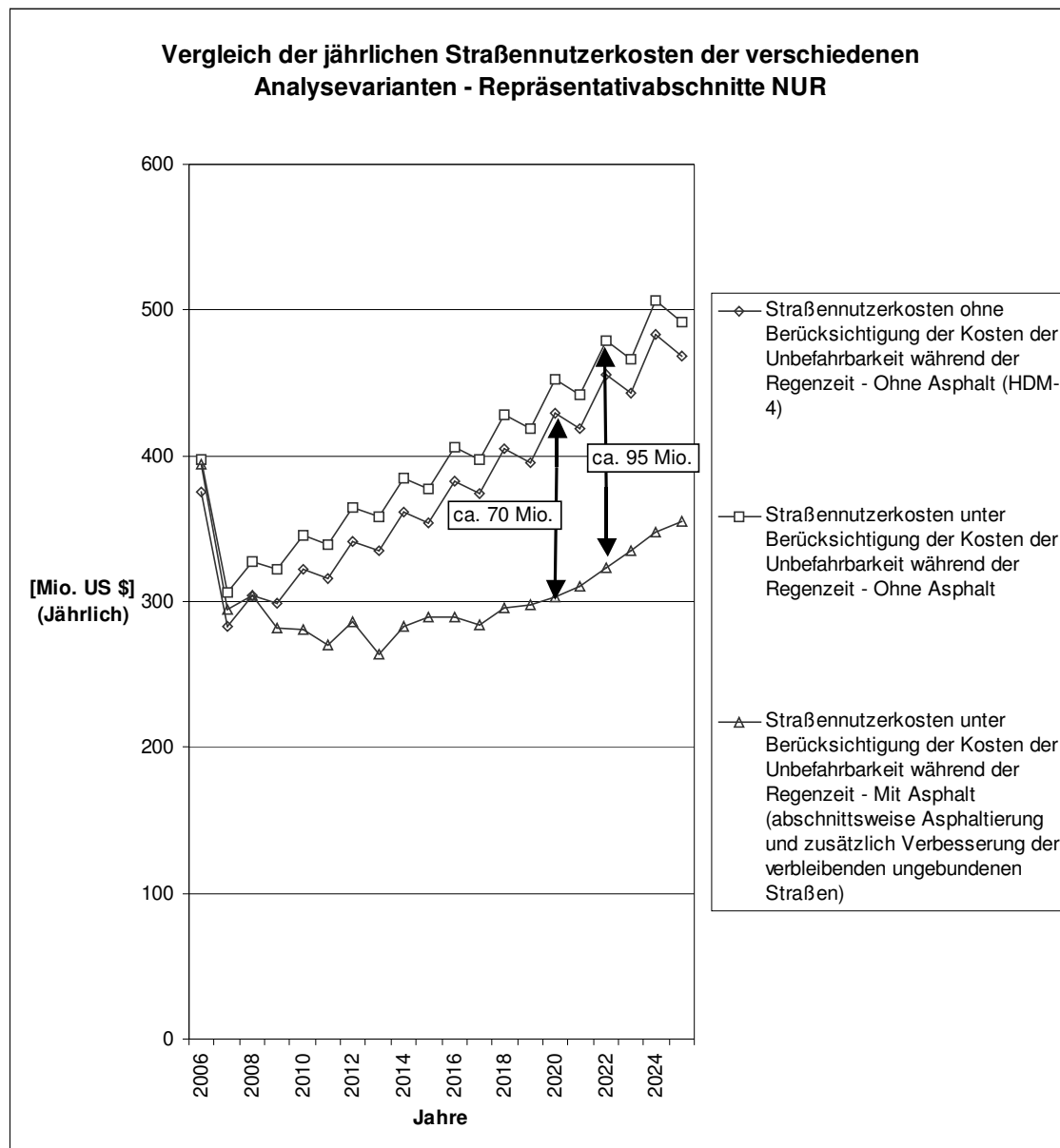


Abbildung 5-24: Vergleich der jährlichen Straßennutzerkosten der verschiedenen Analysevarianten (NUR)

Die Abbildung 5-23 und die Abbildung 5-24 zeigen, dass die Unbefahrbarkeit während der Regenzeit zu zusätzlichen jährlichen Kosten von ca. 25 Mio. US \$ führt. Mit ca. 20 Mio. US \$ mehr Kosten für die abschnittsweise Asphaltierung, ergibt sich eine jährliche Einsparung der Straßennutzerkosten von ca. 95 Mio. US \$.

Die Entwicklung der gesamten Straßennutzerkosten der Repräsentativabschnitte NUR (der Unterschied zwischen verschiedene Varianten liegt nur an den Repräsentativabschnitten NUR) über die Zeit ist in der Abbildung 5-25 dargestellt.

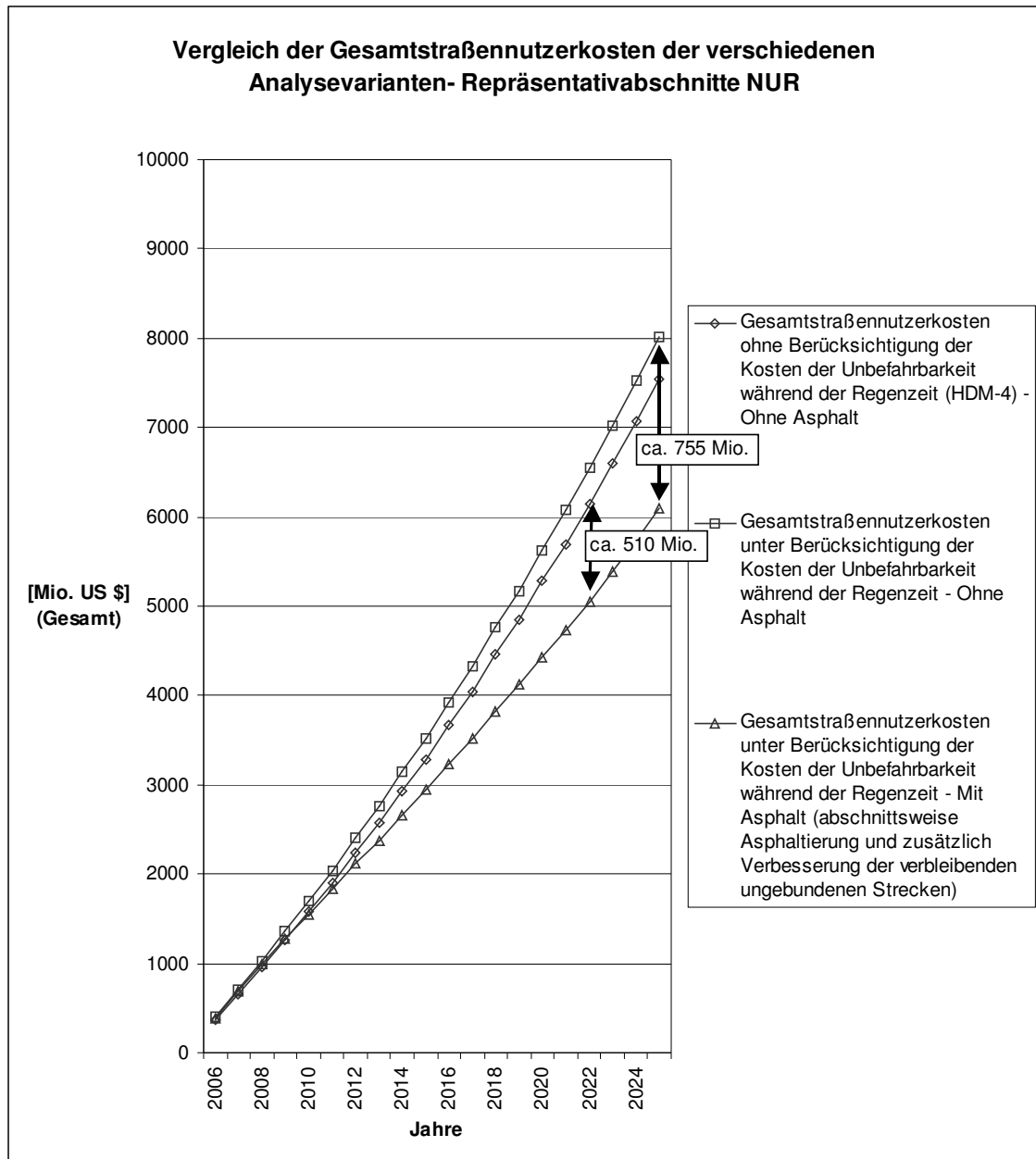


Abbildung 5-25: Vergleich der Gesamtstraßennutzerkosten der verschiedenen Analysevarianten (NUR)

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung der Gesamtbaukosten der verschiedenen Analysevarianten (Gesamtstraßennetz) zu sehen.

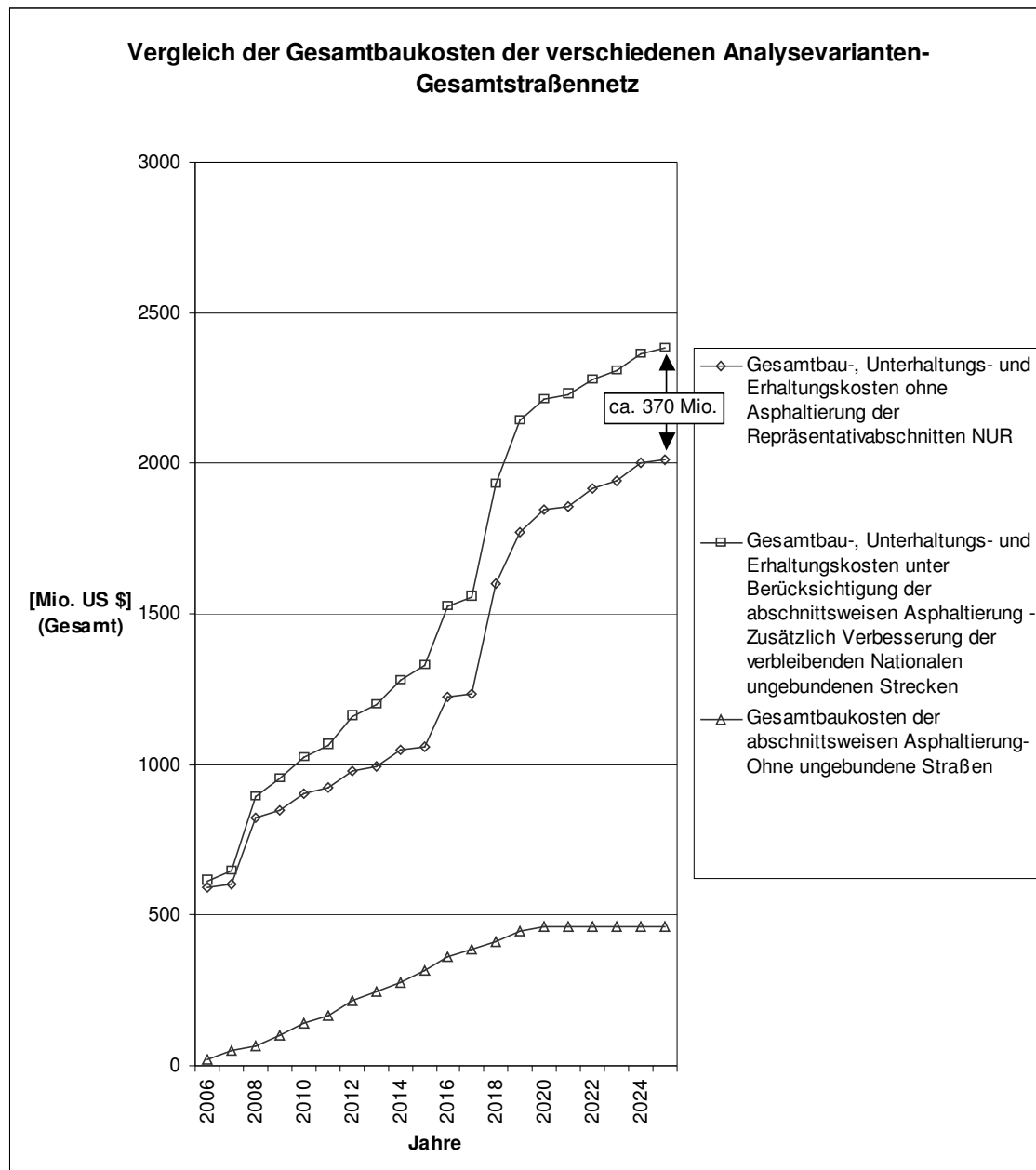


Abbildung 5-26: Vergleich der Gesamtbaukosten der verschiedenen Analysevarianten (Gesamtstraßennetz)

Betrachtet man die Abbildung 5-25 und die Abbildung 5-26, dann fällt auf, dass in einer Zeitspanne von 20 Jahren das Land für eine „ideale Maintenance“ seines Gesamtstraßennetz ca. 370 Mio. US \$ mehr ausgeben wird. Die Straßennutzerkosten betragen aber ca. 510 Mio. US \$ weniger im Vergleich zur Analyse mit dem HDM-4-Programm (ohne Berücksichtigung der Kosten der Unbefahrbarkeit in der Regenzeit). Das entspricht einem volkswirtschaftlichen Gewinn von ca. 140 Mio. US \$ Außerdem bleiben die Straßen ganzjährig befahrbar. Von daher ist die abschnittsweise Asphaltierung des ungebundenen Nationalen Netzes Kameruns gerechtfertigt.

Das Land wird dann von Norden nach Süden und von Westen nach Osten durch ein den heutigen Bedürfnissen angepasstes Straßennetz verbunden und hat die Verbesserung der Lebensqualität der Bevölkerung zur Folge.

Die neugebauten Strecken werden ganzjährlich benutzt und bringen der Bevölkerung deutliche Vorteile hinsichtlich Transportzeiten und –kosten sowie hinsichtlich des Güteraustauschs mit der Region und der Preisgestaltung der in die Region importierten Güter. Die Agrarprodukte kommen günstig auf den Markt, die Schulen und die öffentlichen Dienstleistungen werden ganzjährlich gut funktionieren. Sozioökonomisch hat die Straße für die betroffenen Bevölkerungen positive Auswirkungen auch auf arme Bevölkerungsgruppen, da sie nun einen sicheren, wesentlich schnelleren und kostengünstigeren Zugang zum Mittelzentrum und seinen Diensten (administrative, soziale und gesundheitliche Einrichtungen) haben.

Die neuen asphaltierten Strecken sind damit eine starke Waffe für die Verbesserung der Lebensqualität und für die Armutsbekämpfung in Kamerun. Diese Asphaltierung kann auch zur Schonung der Umwelt führen, weil damit der Staub in der Trockenzeit vermieden wird.

Ein Erkenntnis dieser Untersuchung besteht darin, dass mit Hilfe des HDM-4-Programms eine Optimierung in der Erhaltung und Verbesserung des gesamten Straßennetzes Kameruns (ohne Stadt- und Landstraßen) unter gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten aufzeigbar ist.

Da diese Untersuchung eine Netzstrategie ist, sind allgemeine statistische Daten ausreichend. Die Eingabegrößen müssen im Vorfeld so genau wie möglich angegeben werden. Es ist auch notwendig, Feldversuche (z.B. für den Unebenheitsindex) auf Teststrecken durchzuführen, um das HDM-4-Programm an den Bedingungen Kameruns zu kalibrieren.

Diese Strategieanalyse dient zur Orientierung der Planung und Durchführung der Straßenerhaltung in Kamerun für die kommenden 20 Jahre mit der Folge der Entwicklung eines Managementsystems. Allerdings sollte zusätzlich in jeder Region ein 5-jähriges Unterhaltungsprogramm mit Hilfe des HDM-4-Programms, basierend auf dieser Strategieanalyse und auf Kapitel 4 (Projektanalyse: Rehabilitation Douala – Yaounde) initiiert werden. Das Regionalprogramm kann mit dem HDM-4-Programm durch eine Programmanalyse, die das Ziel dieser Arbeit überschreitet, erstellt werden. Die Planung umfasst die Bestands- und Zustandserfassung, das Aufstellen eines Tätigkeitskatalogs sowie die Festlegung des Arbeitsintervalls für die einzelnen Tätigkeiten in Verbindung mit Kostenfaktoren.

Die Probleme des Straßensektors sind aber in Kamerun wie in allen Entwicklungsländern nicht nur finanzieller, sondern auch organisatorischer Art. Deswegen sollte ein Straßenmanagementsystem für diese Länder entwickelt werden.

6 Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse

6.1 Deckung des Finanzbedarfs und Bedeutung des Straßenfonds

Die Finanzierung des Straßensektors erfolgt in Kamerun zurzeit überwiegend durch internationale Geldgeber. Die wichtigsten Geldgeber sind die UN-Finanzinstitutionen wie Weltbank, BIRD (*Banque Internationale pour la Reconstruction et le Developpement*), IDA (*International Development Association*); die EU-Finanzinstitutionen wie der Europäische Entwicklungsfonds und die Europäische Investitionsbank; einige Regionalbanken wie die afrikanische (BAD) und arabische Entwicklungsbank und andere internationale Hilfsorganisationen im Rahmen von Entwicklungshilfe, meistens als bilaterale Kooperation: BMZ (Bundesministerium für Zusammenarbeit), GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), CFD (*Caisse Francaise de Developpement*), FAC (*Fonds d'Aide à la Cooperation*), AGCD (*Agence Generale de la Cooperation au Developpement*).

Die Geldgeber leihen Kapital mit niedrigen Zinssätzen, zu denen die Entwicklungsländer sonst keinen Zugang auf dem Markt hätten [43]. Sowohl die Geldgeber als auch die Empfänger haben Interesse daran, dass das so finanzierte Infrastrukturprojekt gut verwaltet wird. Es ist zu vermeiden, dass die Infrastruktur zerstört wird, bevor die theoretische Lebensdauer erreicht ist und somit die erwarteten wirtschaftlichen Dienste nicht erfüllt werden.

Die internationalen Geldgeber, die die Infrastruktur (Konstruktion, Rehabilitation, Rekonstruktion) finanzieren, wollen sicher sein, dass das Schuldnerland die Unterhaltung mit Qualität und Regelmäßigkeit gewährleistet. Die Kapitalgeber wünschen, dass die Straßenunterhaltung direkt vom Benutzer im Rahmen einer Vermarktung der Straßen finanziert wird.

Die externe Finanzierung der Straßenunterhaltung kann keine dauerhafte Lösung sein.

Die finanzielle Nachhaltigkeit hängt von einer sicheren und ausreichenden Finanzierung und einer effizienten Verwendung der Gelder ab. Ein kommerzieller Ansatz und die Einführung privatisierter Dienstleistungen [69] werden zu einer größeren betrieblichen Effizienz des Verkehrs beitragen, einen besseren Unterhalt fördern und den beteiligten Akteuren Vorteile (Reduzierung der Baulastträger- und Straßennutzerkosten) bringen.

Damit der Bedarf der Straßenerhaltung gedeckt und langfristig gesichert werden kann, müssen neue Finanzierungsformen und verbesserte organisatorische Strukturen geschaffen werden.

6.1.1 Quellen der Finanzierung der Straßenerhaltung

Die Finanzierung der Straßenunterhaltung sollte über Nutzertarife erfolgen und aus dem allgemeinen Staatshaushalt ausgliedert werden: Straßen sind eine öffentliche

Dienstleistung, vergleichbar mit der Strom- bzw. Wasserversorgung. Dienstleistungen sollten durch Nutzertarife bezahlt werden, wobei die Nutzertarife nicht in den Staatshaushalt eingehen, sondern an die Organisation, die die Dienstleistung erbringt [14].

Diese Nutzertarife sollen ausschließlich für die Straßenunterhaltung genutzt werden.

Die Hauptstraßensteuern in Kamerun sind:

- Einfuhrzollsteuer
- Kraftfahrzeugsteuer (jährliche Vignette, Kennzeichensteuer, Ersatzteilesteuer)
- Lizenz und blaue Karte für Transportfachmänner
- internationale Transitsteuer
- Straßenwägeeinrichtungen
- Maut
- Mineralölsteuer

Die Gesamtheit dieser Einnahmen stellt den „Straßentarif“ dar. All diese möglichen Straßensteuern sind mehr oder weniger rentabel und mehr oder weniger gerecht auf den Straßennutzer verteilt. Sie haben eine differierende Auswirkung auf die Verkehrskosten und auch der Aufwand ist unterschiedlich.

Im Jahr 2003 wurden in Kamerun 11 Millionen US \$ mit der Maut erwirtschaftet. Für die Straßenunterhaltung wurden daraus lediglich 1,5 Millionen US \$ bereitgestellt. Das Geld wird beim Finanzministerium verwaltet und von dort verteilt. D.h. auch andere Sektoren werden mit den Geldern der Maut versorgt.

Nach G. Metschies [35] müssten 10 US Cent pro Liter Kraftstoff ausreichen, um die Unterhaltung und Erhaltung eines Straßennetzes in gutem Zustand zu gewährleisten, wobei zu berücksichtigen ist, dass die afrikanischen Straßennetze in keinem guten Zustand sind. In den meisten afrikanischen Ländern wären die Steuern auf Erdölerzeugnisse ausreichend, um die Bedürfnisse der Straßenunterhaltung zu decken [57]. Allerdings gehen diese Mittel zu einem großen Teil im allgemeinen Staatshaushalt unter.

In Kamerun können die Mineralölsteuern wie folgt geschätzt werden: Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch für Personenkraftwagen ist auf einem weltweiten Durchschnitt von 10 l/100 km und für Lastkraftwagen und Busse von 25 l/100 km geschätzt worden [35]. Damit kann der jährliche Kraftstoffverbrauch bestimmt werden (s. Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Geschätzter jährlicher Kraftstoffverbrauch und Kraftstoffbesteuerung in Kamerun [35]

PKW		kommerzielle Fahrzeuge		Kraftstoff- Verbrauch Pro Jahr	Mittlere Kraftstoff- besteuerung	Geschätzte jährliche Kraftstoff- besteuerung	Zusätzliche Einnahmen bei Erhöhung von 10 US Cent/l
Anzahl	Jährliche Reisedistanz	Anzahl	Jährliche Reisedistanz				
	[km]		[km]	[Mio.l/a]	[US Cent/l]	[Mio. US \$/a]	[Mio US \$/a]
134.000	10.000	45.000	25.000	415	31	129	42

Das Land kann jährlich durch Besteuerung 129 Millionen US \$ einnehmen. Bei einer Erhöhung von 10 US-Cent je Liter sind zusätzliche Einnahmen in Höhe von 42 Millionen US \$ möglich [35]. Dieser Betrag (129 Millionen) sollte nur für die Unterhaltung, die Erhaltung und den Ausbau von Straßen verwendet werden. Der Betrag der Kraftstoffbesteuerung kann die „*Ideal Maintenance*“ des gesamten Straßennetz Kameruns (jährlich ca. 117 Mio. vgl. Kap. 5) finanzieren.

Eine Straßenfinanzierung über Tarife auf Kraftstoff fördert zusätzlich den effizienten Gebrauch von Kraftstoffen, wodurch die Umwelt geschont wird.

Es sind höchstens 3 oder 4 Steuertypen zu definieren, um die Straßengeldsammlung zu vereinfachen und zu kontrollieren. Die Zusammensetzung des Straßentarifes muss dabei die wirtschaftlichen und die fiskalischen Besonderheiten des Landes berücksichtigen.

Der allgemeine Tarif setzt sich z.B. aus folgenden Komponenten zusammen:

- eine jährliche Vignette (oder eine Kennzeichensteuer), abhängig von der Fahrzeugkategorie
- eine internationale Transitsteuer
- eine Steuer auf Erdölerzeugnisse.

Aus den Statistiken der jährlich neu registrierten Fahrzeuge, den jährlich registrierten Transitzfahrzeugen und dem jährlich ermittelten Treibstoffverbrauch lassen sich die jährlichen Straßentarife bestimmen.

Die Gesamtbau- und Erhaltungskosten von 2006 bis 2025 des Gesamtstraßennetzes Kamerun (vorgeschlagene Bauplanung: „*Ideal Maintenance*“) betragen ca. 2334 Mio. US \$. Die Straßenbenutzer können die Baukosten der Asphaltierung durch den Straßentarif finanzieren. Die Wichtigkeit der Maßnahmen ist überzeugend darzustellen und das Geld muss tatsächlich für die Straßenverbesserung eingesetzt werden. Für die Straßen mit schwacher Verkehrsbelastung ist es unentbehrlich, eine Kofinanzierung durch die Straßen mit hoher Verkehrsbelastung und die lokale Kommunalbehörde zu initiieren. Jedes registrierte Fahrzeug des ganzen Straßennetz (179.000 Fahrzeuge, s. Tabelle 6-1) müsste für die abschnittsweise Asphaltierung einen zusätzlichen durchschnittlichen jährlichen Straßentarif von 104 US \$ in einer

Zeitspanne von 20 Jahren bezahlen. Die durchschnittliche jährliche Einsparung der Straßennutzerkosten (gleich Gewinn) pro registrierten Fahrzeugs würde aber ca. 211 US \$ betragen.

6.1.2 Bedeutung des Straßenfonds

In der Praxis erscheint es notwendig, einen speziellen Straßenfonds einzurichten, der von einem Verwaltungsrat mit einer bedeutenden Vertretung des Privatsektors geleitet wird, aber gleichzeitig auch den Staat repräsentiert. Die Straßennutzer werden durch die Gewerkschaften vertreten. Entscheidend ist ein transparentes Management, wenn der Zustand der Straßen nachhaltig verbessert werden soll.

Vom 22. bis 28. Juni 2005 hat in der „*Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Paris*“ ein Seminar über die Finanzierung der Straßenunterhaltung und das Management des Straßenfonds stattgefunden. Im Rahmen dieses Seminar wurde gezeigt, dass 24 Länder (Kamerun, Äthiopien, Ghana, Jordanien, Malawi, Sierra Leone, Sambia, Jemen etc.) bereits einen Straßenfond eingerichtet haben. 23 Länder haben einen Verwaltungsrat mit einer bedeutenden Vertretung des Privatsektors und 9 mit einer Mehrheit der Vertreter aus dem Privatsektor. In 13 Ländern kommen 80% der Mittel des Straßenfonds aus Straßennutzertarifen. Weitere 11 Länder haben eine unabhängige Straßenagentur eingerichtet.

Im Allgemeinen hat der Verwaltungsrat 9 bis 12 Mitglieder – besetzt mit Personen aus Organisationen oder Gewerkschaften, die sie vertreten (vgl. Australien und Neuseeland). Die Mitglieder haben ein Mandat von 3 oder 4 Jahren. Die Mitglieder des Rates benötigen oft eine Weiterbildung, um die notwendigen Kompetenzen zu erwerben. Es ist von vorrangiger Bedeutung, neben den Mitgliedern auch einen unabhängigen Präsidenten zu haben, der die öffentlichen Interessen vertreten kann.

Die Einführung von Straßenfonds hat eine größere Transparenz bei der Verwendung des Straßengeldes. Es wurde ermittelt, dass die Einheitskosten der Unterhaltungsmaßnahmen durch die Einrichtung eines Straßenfonds in Äthiopien, Ghana und Zambia um 10 bis 20% günstiger geworden sind [57].

Der Finanzminister von Tansania teilte mit, dass die neuen Fortschritte in der Straßenunterhaltung zu einer erheblichen Zunahme der Wachstumsrate des Landes beigetragen haben. Jedoch führen nur wenige Länder die erzielten Fortschritte und noch weniger die Auswirkungen der Straßenunterhaltung auf die gesamte Wirtschaftslage des Landes zurück. Es ist sicherzustellen, dass den aufgewendeten Ressourcen (Investitions- und Erhaltungsaufwendungen) angemessene soziale und wirtschaftliche Nutzen (z.B. Zeit- und Kostenersparnisse beim Transport) gegenüberstehen.

Jeder einzelne Nutzer sollte mit den von ihm verursachten direkten und indirekten Kosten belastet werden. Die Straßennutzer sind bereit, für die Straßenunterhaltung zu zahlen, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- ihr Geld muss tatsächlich der Straßenunterhaltung gewidmet werden,
- die Verwirklichung der Unterhaltungsarbeiten muss erkennbar sein,
- sie müssen Einfluss auf die Prioritäten haben,
- sie müssen den finanziellen Vorteil für sich erkennen können.

Das Straßennutzerentgelt kann als ein „Straßentarif“ definiert werden; somit handelt es sich von Natur aus nicht mehr um Besteuerung, und ihre Sammlung ist unabhängig von den fiskalischen Diensten. Der Verwaltungsrat des Straßenfonds muss die volle und ganze Autorität haben, um die Straßentarife zu sammeln (wie für das Wasser, den Strom und die Telekommunikation).

Die Straßennutzer sollten die Finanzierung der Straßenunterhaltung durch die Straßentarife übernehmen. Jedoch ist die Außenfinanzierung durch internationale Geldgeber weiterhin notwendig, um die Straßenrekonstruktion als Ausnahme zu finanzieren. Die Aufgabe jedes Teilnehmers am Straßensektor sollte klar definiert werden. Die Aufgabenteilung zwischen den verschiedenen Teilnehmern am Straßensektor kann wie folgt vorgeschlagen werden:

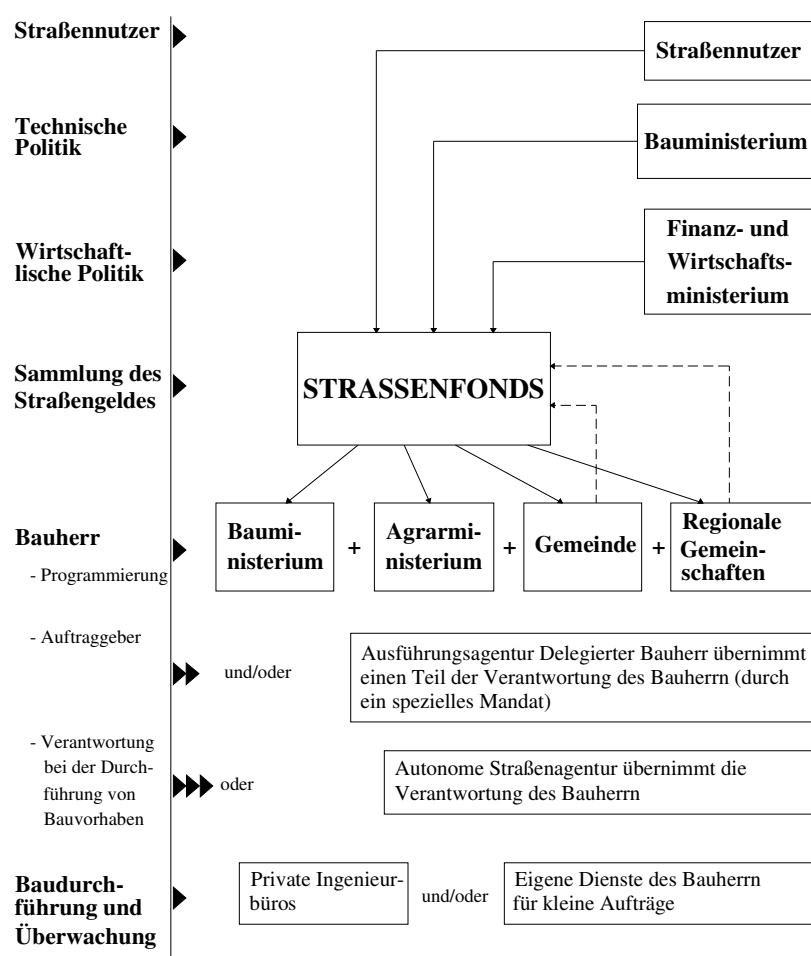


Abbildung 6-1: Aufgabenteilung zwischen den verschiedenen Teilnehmern am Straßensektor [57]

Die folgende Abbildung 6-2 zeigt ein mögliches Verwaltungssystem der Straßenfinanzierung. Die Sonderspende zur Finanzierung des vorrangigen Straßennetzes ist z.B. eine Sonderaktion der Weltbank oder anderer internationaler Geldgeber.

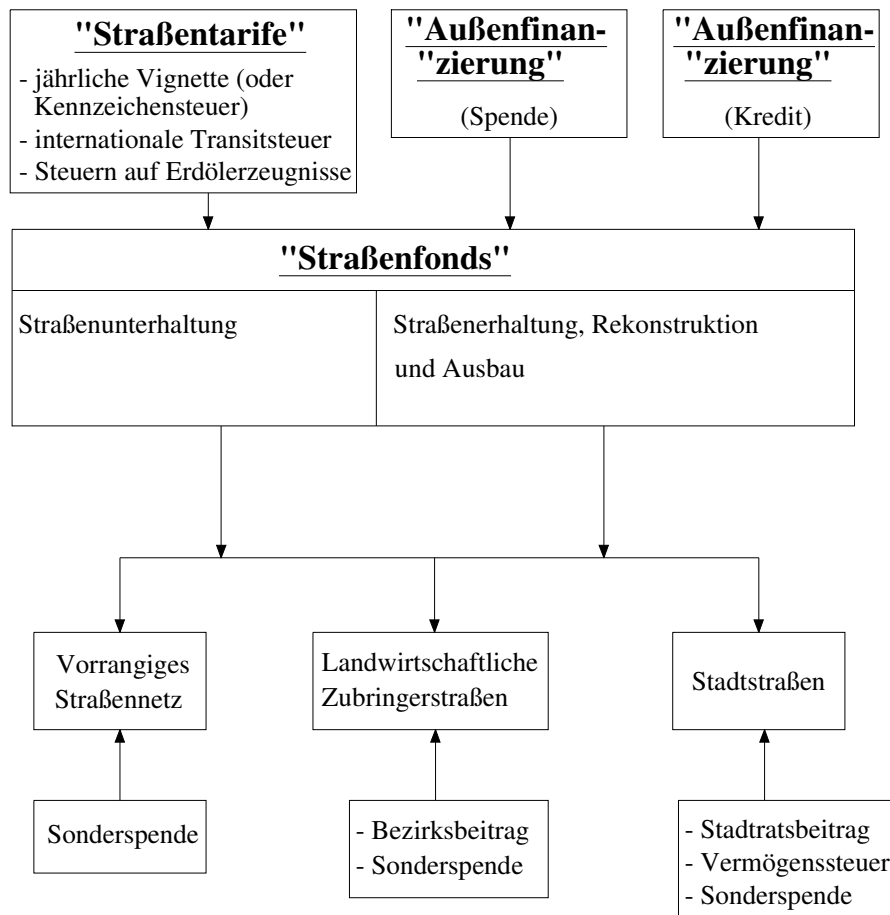


Abbildung 6-2: mögliches Verwaltungssystem der Straßenfinanzierung

6.2 Grobschema eines in Entwicklungsländern einsetzbaren PMS

Das *Pavement-Management-System* (PMS) ist in Entwicklungsländern und überall in der Welt zu empfehlen, weil hiermit die Erhaltungskosten minimiert, und Einsparungen bei der Unterhaltung sowie Planung von Neubaumaßnahmen ermöglicht werden können. Ein in dieser Arbeit entwickeltes Grobschema eines solchen PMS ist in der Abbildung 6-3 zu sehen.

Die Zustanderfassung und -bewertung des Straßennetzes kann mit Hilfe von VIZIR [63] durchgeführt werden. VIZIR (bzw. VIZIRET) ist ein System zur Qualifizierung und Quantifizierung der Schäden an einer Straße mit (bzw. ohne) Fahrbahndecke. Es ist ein Hilfsmittel zur Organisation der Straßenunterhaltung [28], [29], [30], [31], [32], [33].

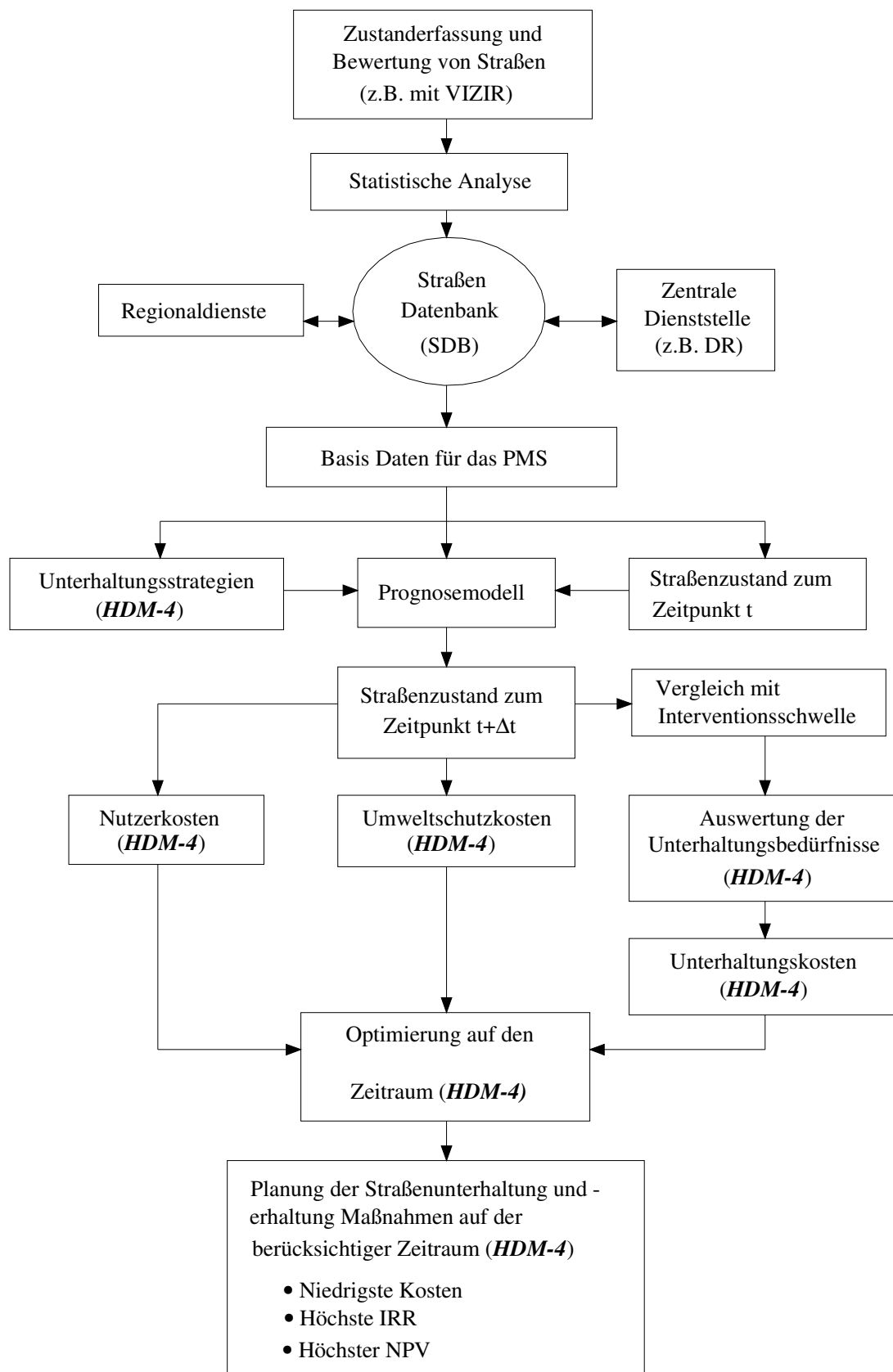


Abbildung 6-3: Grobschema eines in Entwicklungsländern einsetzbaren PMS

Mit Hilfe von HDM-4 und des PMS ist eine Programmierung aller Unterhaltungs- und Instandsetzungsstrategien für die kommenden 5 bis 40 Jahre möglich. Damit hat die Regierung die Möglichkeit, frühzeitig die Finanzierung zu erarbeiten. Dies ist hauptsächlich ein Werkzeug der Straßenverwaltung, um die Politik der Unterhaltung festzulegen. Somit können die vorhandenen Mittel bzw. der geschätzte Bedarf des Haushaltes für die Straßenunterhaltung frühzeitig der Politik zugänglich gemacht und verabschiedet werden. Verkehr, Zeit und Verhalten der Straßenkonstruktion sind wichtige Faktoren zur mengenmäßigen Schätzung und Festlegung der Ziele der Unterhaltung. Die Hauptziele sind: niedrigste Kosten um ein bestimmtes Dienstniveau aufrechtzuerhalten, höchster interner Zinsfuß und höchster Gewinn.

6.3 Schlussfolgerungen

Ein Verkehrssystem ist wesentlich für die Entwicklung der nationalen Wirtschaft, für den sozialen Fortschritt und die Lebensqualität eines Landes notwendig. Gleichwohl ist es auch ein Zeichen der Wirtschaftskraft und des erreichten Modernisierungsstandes.

Die Straße bleibt, verglichen mit anderen Transportwegen in Kamerun, wie in den meisten Entwicklungsländern der Hauptverkehrsweg sowohl für den Güter- als auch Personenverkehr. Es sollte versucht werden, das Straßennetz in gutem Zustand zu erhalten.

Die finanziellen Mittel für die Straßenfinanzierung sind nicht ausreichend. Um den Finanzbedarf zu decken, sollte ein Straßentarif bestehend aus den folgenden Komponenten eingeführt werden: eine jährliche Vignette, eine internationale Transitsteuer und eine Steuer auf Erdölerzeugnisse.

Das Problem des Straßensektors ist in Kamerun nicht nur finanzieller, sondern auch organisatorischer Art. Ein Großteil der Funktionen der Straßenbehörden sollte auf autonome Betriebe (Straßenfonds) übertragen werden. Die Straßenfonds müssen klar beschriebene Ziele, Aufgaben und Verantwortlichkeiten haben. Eine wesentliche Aufgabe ist die jährliche Erstellung und Aktualisierung von Straßenunterhaltungsplänen. Die Fonds müssen weiterhin regelmäßigen Prüfungen unterzogen werden, in denen die gesteckten Ziele den tatsächlich erreichten Leistungen gegenübergestellt werden.

Gewisse Aufgaben der Straßenbehörden sind notwendigerweise dem Staat vorbehalten (öffentliche Ordnung, strategische Planung und Programmierung durch das PMS). Andere Funktionen sind mehr kommerzieller Natur und können von kommerziell operierenden Organisationen besser und flexibler wahrgenommen werden. Der Staat sollte die kommerziellen Funktionen (darunter die Unterhaltung und Erhaltung des Straßennetzes) an einen autonomen Straßenfonds abgeben, der weitgehend von Straßenbenutzern kontrolliert wird.

Der Ingenieur wird bei der Aufstellung von wirtschaftlich optimierten Erhaltungsprogrammen durch das HDM-4-Programm unterstützt und die langfristige Sicherung eines hohen Gebrauchs- und Substanzwertes wird erleichtert.

Das PMS muss in Entwicklungsländern, insbesondere in Kamerun folgende Aufgabe ausführen können:

- Erstellung eines jährliches Arbeitsprogramms
- Erstellung einer langen Zustandsprognose
- Simulation des nationalen Straßenzustandes
- Erstellung eines Multi-Jahr-Unterhaltungsplan
- Budgetverteilung auf die Regionen.

Diese Aufgaben werden durch die aktuelle Unterhaltungs- und Erhaltungspolitik (vgl. Kap. 2.6.5) nur teilweise erfüllt. Insbesondere werden die Erstellung einer langen Zustandsprognose, die Erstellung eines Multi-Jahr-Unterhaltungsplans und die Budgetverteilung auf die Regionen noch nicht praktiziert.

Das Grobschema eines in Entwicklungsländern einsetzbaren PMS ist in der Abbildung 6-3 zu sehen.

Kosten für den Umweltschutz müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Eine geordnete Straßenerhaltung dient nicht nur der baulichen Substanzerhaltung und der Verminderung von Straßennutzerkosten, sondern ist in vieler Hinsicht auch ein Aktivposten zugunsten des Umweltschutzes.

7 Zusammenfassung

Entwicklungsländer wie Kamerun sind auf Hilfen, vor allem finanzielle, aus dem Ausland angewiesen. Mit diesen Mitteln wird z.B. die Infrastruktur des Landes unterhalten und wenn möglich erweitert und erneuert bzw. verbessert. Ohne einen gezielten Einsatz der vorhandenen Mittel kann dies allerdings dazu führen, dass getroffenen Maßnahmen nur kurzfristig zu einer Verbesserung führen. Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe des HDM-4-Programms die Einführung eines Managementsystems in Entwicklungsländern am Beispiel Kamerun zu untersuchen. Hierbei steht die Optimierung und Verbesserung des Einsatzes der vorhandenen Finanzmittel sowie der Unterhaltung und Erneuerung der vorhandenen Infrastruktur im Vordergrund, um eine dauerhafte Straßenbefestigung zu erhalten. Ergebnis eines solchen Managements muss langfristig die Unabhängigkeit eines Landes von fremden Finanzmitteln sein, die zur Aufrechterhaltung der Infrastruktur benötigt wird. Zudem stellt eine gute Infrastruktur auch immer die Grundlage für eine funktionierende Wirtschaft eines Landes dar und bietet den Entwicklungsländern somit die Möglichkeit, langfristig auch gesamtwirtschaftlich unabhängig zu werden.

Nach einer Einführung, in der das Land Kamerun dargestellt wird, werden die Probleme aufgezeigt, die typischerweise in Entwicklungsländern in Bezug auf den Straßenbau und die Erhaltung der Verkehrswege auftreten. Auf Grund einer schwachen volkswirtschaftlichen Struktur des Landes und mangels vorhandener Finanzmittel sowie ausreichendem Fachpersonal und geeigneter Ausrüstung sind viele Entwicklungsländer, ebenso wie Kamerun, nicht in der Lage, das Straßennetz vernünftig instand zu setzen oder periodisch zu unterhalten.

Als exemplarisches Beispiel wird zunächst in einer Projektanalyse die Fernstraße zwischen den zwei wichtigsten Ballungszentren Kameruns, Douala (wirtschaftliche Hauptstadt) und Yaounde (politische Hauptstadt), mit Hilfe des HDM-4-Programms untersucht und bewertet. Das Ziel dieser Untersuchung ist die Prioritätenbestimmung von alternativen Erhaltungs- und Ausbaustrategien.

Um die Möglichkeiten der Projektanalyse aufzuzeigen und um darzustellen, wie örtliche Besonderheiten in die Analyse mit einfließen, wurden Ergebnisse aus bodenmechanischen Untersuchungen im Labor in Douala integriert. Das Hauptziel dieser Laboruntersuchungen war die mechanische Verbesserung der Böden im Bereich des untersuchten Projektabschnittes, die als Straßenbaustoffe geeignet sind. Durch eine Veränderung der Zusammensetzung verschiedener Bodengemische konnten die vorhandenen Baumaterialien so optimiert werden, dass mit den örtlich vorhandenen Materialien ähnliche Eigenschaften, wie bei den sonst üblicherweise verwendeten Baustoffen, erzielt wurden. Diese Baustoffe konnten in der Projektanalyse berücksichtigt werden mit dem Erfolg, dass teure Baustoffe und Transporte überflüssig

werden. Zudem kann somit auf die Zugabe von teuren Bindemitteln (Kalk, Zement, Bitumen,...) verzichtet werden, was die Kosten ebenfalls senkt.

Das Entscheidungskriterium der Wirtschaftlichkeit einer Alternative wird durch einen hohen Nettogegenwartswert (NPV) und einen hohen internen Zinsfuß (IRR) ausgedrückt. Für die Projektanalyse der Fernstraße Douala – Yaounde ist hierbei gut zu erkennen, wie sich der Einsatz der alternativen Baustoffe positiv auf den NPV auswirkt. Werden zur Vermeidung bzw. Reduzierung der hohen Unfallzahlen Verbreiterungen der vorhandenen Fahrbahnen vorgesehen, so können durch den Einsatz der neuen Baustoffe höhere NPV-Werte erreicht werden. Aus der Untersuchung kann man aber auch erkennen, dass eine Verbreiterung von 7 m anstatt 3m die ungünstigere Alternative darstellt, da die Baulastträgerkosten sehr hoch sind und sich so die niedrigsten Nettogegenwartswerte (NPV) und der niedrigste interne Zinsfuß (IRR) ergeben, auch wenn die Unfallzahlen so erheblich reduziert werden.

Die Projektanalyse Douala – Yaounde hat gezeigt, welche vielfältigen Möglichkeiten der Analyse und Beurteilung mit einem solchen System möglich sind. Dieses Projekt kann somit der Vorbereitung eines „*Projektanalyse-Systems*“ dienen. Zudem bilden die Erkenntnisse der Projektanalyse, wie z.B. die eingesetzten und neu entwickelten Unterhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen die Grundlage für die im Anschluss durchgeführte Strategieberücksichtigung des gesamten Prioritätsnetz Kameruns.

Für die Strategieberücksichtigung wird das Prioritätsnetz des Landes Kamerun berücksichtigt. Hierzu gehören alle asphaltierten Straßen sowie die ungebundenen National-, Provinz- und Departmentstraßen außerhalb der Städte. Aus diesem Netz werden insgesamt 14 Repräsentativabschnitte gebildet, denen die jeweilige Länge an dem Gesamtnetz zugewiesen wird. Die Repräsentationsabschnitte ergeben sich dabei aus einer Funktionsklassifikation der Straßen nach Klasse, Art des Oberbaus und Zustandsniveau. Bei der eigentlichen Strategieberücksichtigung werden für die einzelnen Abschnitte unterschiedliche Erhaltungsstrategien untersucht und ausgewertet. Hierbei beträgt der Betrachtungszeitraum insgesamt 20 Jahre (2006 - 2025). Ausschlaggebend ist auch hierbei die Erzielung eines maximalen NPV-Wertes. Nach einer ersten Analyse zeigte sich, dass für Teile des Netzes aus der Berechnung Erhaltungsstrategien gewählt wurden, die unter den in Kamerun herrschenden Randbedingungen nicht durchführbar sind, weshalb hier manuell andere Strategien gewählt wurden, die aber nicht zu dem höchsten NPV führen. Aus der Untersuchung wird deutlich, dass die vorhandenen Finanzmittel des Landes Kamerun nicht ausreichen werden, um das gesamte Netz in einem guten Zustand zu halten. Deshalb wurde das Budget, das zurzeit real verfügbar ist und etwa 62% des Maximalbudgets darstellt, für die nächste Stufe der Untersuchung zugrundegelegt. Die Analyse mit dieser Budgetbegrenzung zeigt, dass dieses vor allem zu einer Vernachlässigung der Straßen niedriger Kategorie führt. Aber selbst die Erhöhung des Budgets auf etwa 80% führt zu keiner nennenswerten Steigerung des Zustandes dieser Straßen. Zudem zeigt eine Analyse mit dem Ziel eines optimalen

Netzes, dass selbst mit einem erheblich höheren Finanzbedarf die Verbesserung des Gesamtnetzes eher gering ausfällt.

Eine Strategieberücksichtigung mit einer Beobachtungsperiode von 40 Jahren (Sensitivitätsanalyse) sollte zeigen, ob die gewählten Maßnahmen auch über einen längeren Zeitraum die gleiche Priorität haben. Dies konnte durch diese Analyse bestätigt werden.

Als Ergebnis der Analyse kann festgehalten werden, dass mit einem Einsatz von ca. 2011 Millionen US \$ in einer Zeitspanne von 20 Jahren das gesamte Prioritätsnetz Kameruns in einem brauchbaren Zustand erhalten werden kann. Das entspricht einem jährlichen Budget von ca. 100 Millionen US \$.

Obwohl die ungebundenen Strecken mit der Erhaltungsmaßnahme „*regravelling*“ regelmäßig erhalten werden, sind sie in der Regenzeit schwer befahrbar. Deswegen wurde eine abschnittsweise Asphaltierung aller ungebundenen Nationalen Straßen als ideale Erhaltungsstrategie untersucht. Die vorgeschlagene Bauplanung erstreckt sich dabei über 15 Jahre. Diese Methode musste zunächst entwickelt werden, da die Software standardmäßig lediglich einen Zeitraum von 5 Jahren berücksichtigt. Dieses hätte aber zu solch hohen Investitionskosten in den ersten 5 Jahren geführt, dass es für ein Land wie Kamerun nicht möglich gewesen wäre, diese in die Tat umzusetzen. Die Reihenfolge der Asphaltierung fängt mit der Strecke an, die den höchsten NPV hat, und endet mit der Strecke mit dem niedrigsten NPV. Der Gesamtgewinn infolge Asphaltierung zeigt, dass die Kosten für eine sachgerechte Unterhaltung, Erhaltung und Umbau des Netzes im Land erwirtschaftet werden können. Dabei ergibt sich ein Großteil der „Gewinne“ aus der Möglichkeit vor allem verderbliche Waren rechtzeitig und kostengünstig auf die Märkte bzw. zu den Häfen zu bringen. Das Land wird dann von Norden nach Süden und von Westen nach Osten durch ein den heutigen Bedürfnissen angepasstes Straßennetz verbunden, so dass die Lebensqualität der Bevölkerung verbessert wird.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Entwicklung und Einführung eines Straßenmanagementsystems in Kamerun zu einer erheblichen Verbesserung der Infrastruktur führen kann. Es wird empfohlen, die Finanzierung der Straßenunterhaltung ausschließlich über Benutzertarife erfolgen zu lassen und aus dem allgemeinen Staatshaushalt auszugliedern, damit die Einnahmen, die über die Infrastruktur erzielt werden, auch dieser zugute kommen und nicht in den allgemeinen Einnahmen des Staates verloren gehen. Hierbei stellt ein Tarifaufschlag auf den Kraftstoff-Grundpreis die effizienteste Methode zur Finanzierung der Straßenunterhaltung dar, weshalb dieses die Basis ihrer Finanzierung darstellen sollte. Untersuchungen zeigen, dass diese Finanzierung ausreichen würde. Eine Straßenfinanzierung über den Kraftstoffpreis fördert weiterhin den effizienten Gebrauch von Kraftstoffen und schont dadurch die Umwelt. Zukünftig sollte deshalb eine Zusammensetzung des Straßentarifs durch drei Komponenten: eine jährliche Vignette, eine internationale Transitsteuer und ein Tarifaufschlag auf Erdölzeugnisse überdacht werden. Da der Straßennutzer direkt für

die Nutzung der Straße zahlen muss, sollte ein unabhängiger Straßenfond die Unterhaltung und Erhaltung des Netzes verwalten, da somit einer Vermischung der Finanzmittel des allgemeinen Staatshaushaltes und den Mitteln für die Infrastruktur ausgeschlossen würde und langfristig die Straßenunterhaltung und Erhaltung nicht mehr abhängig von den internationalen Geldgebern ist. Wie ein solches Verwaltungssystem in Kamerun aussehen könnte, wird ebenfalls beschrieben.

Bei der Untersuchung und Analyse des kamerunischen Straßennetzes hat sich gezeigt, dass sich mit Hilfe vom Managementsystemen sinnvolle und wichtige Strategien entwickeln lassen, die helfen können, dass Entwicklungsländer sich bei der Errichtung einer guten Infrastruktur selbst helfen können. Die Anwendung des HDM-4-Programms im Speziellen hat allerdings Grenzen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden folgende Probleme erkannt und es wurden Lösungen aufgezeigt, wie diese behoben werden können.

- Die Durchführung der Ausbau- und Verbesserungsmaßnahmen ist auf nur 5 Jahre begrenzt und
- Der volkswirtschaftliche Schaden durch keine bzw. schlechte Befahrbarkeit der ungebundenen Straßen kann nicht mit HDM-4 berechnet werden.

Weiterhin bestehen aber noch Einschränkungen hinsichtlich folgender Punkte:

- Mit HDM-4 kann eine Straße nicht dimensioniert werden
- Die innerörtlichen Straßen sind nicht berücksichtigt
- Die Straßen- und Fahrzeugtypen können nicht erweitert werden
- Die Ergebnisse der Strategieanalyse mit Maximierung des Straßenzustandes zeigen, dass bei der Wahl einer Strategiemassnahme für eine Strecke das Programm nicht immer verlässlich ist
- Bei der Anwendung auf Straßen mit durchschnittlichem täglichen Verkehr weniger als 50 Kfz/24 h ist das Programm nicht verlässlich.

Für den gezielten Einsatz z.B. in Kamerun ist es dringend notwendig, Feldversuche (z.B. für den Unebenheitsindex) auf Teststrecken durchzuführen, um HDM-4 an lokalen Bedingungen zu kalibrieren. Jedes Land wird dann eigene Kalibrierungsfaktoren für HDM-4 haben müssen.

Abschließend bleibt zu sagen, dass Straßen nicht nur eine wichtige Rolle für das wirtschaftliche Wachstum spielen, sondern auch Teil einer Strategie sind, um Grundbedürfnisse zu decken und Armut zu bekämpfen.

Literaturverzeichnis

- [1] Baumgärtner, S. : Mikroökonomie, Uni Heidelberg. Vorlesung im Wintersemester 2003/2004
- [2] Becker, H. :Ein gesamtwirtschaftlicher Berechnungsansatz zur Optimierung straßenbautechnischer Entscheidungen. München, 1982
- [3] FGSV: Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Arbeitsgruppe Straßenplanung/Verkehrsplanung. Köln, 1978
- [4] FGSV : Hinweise zur Durchführung einer Finanzbedarfsprognose auf der Grundlage von Bestandsdaten. FGSV –Arbeitspapier Nr. 9/F1, November 1990
- [5] FGSV: Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Deutscher Straßen- und Verkehrskongress. Management der Straßenerhaltung, München 2002. ISBN 3 7812 1587 3
- [6] FGSV: Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Management der Straßenerhaltung. FGSV - Kolloquium, Neubiberg, 20. und 21. September 1984
- [7] Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: Anwendbarkeit geschlossener Systeme des Managements der Straßenerhaltung. Heft 609, Bundesministerium für Verkehr, Juli 1991
- [8] Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: Brückenerhaltung. Heft 666, Bundesministerium für Verkehr, 1994
- [9] Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: Entwicklung eines Managementsystems für die Brückenerhaltung unter Berücksichtigung einer objektbezogenen Bedarfsermittlung. Heft 681, Bundesministerium für Verkehr, März 1994
- [10] Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: Managementsystems für die Brückenerhaltung „3. Stufe“. Heft 746, Bundesministerium für Verkehr, Februar 1997
- [11] Forschungsauftrag 15/93 auf Antrag der VSS Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute (VSS): Management der Straßenerhaltung (MSE) Entwicklung Maßnahmen-, Strategie- und Kostenmodell. Februar 1996

- [12] Forschungsauftrag 27/86 auf Antrag der VSS Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute (VSS): Rechnergestütztes Management der Fahrbahnerhaltung, Juli 1997
- [13] Fuchs, R.: Reise Know-How Kamerun. Verlag Därr GmbH, Hohenthann, Auflage 1998
- [14] GTZ: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Straßenerhaltung in Entwicklungsländern. GTZ-Seminars für Verkehrsberater, Malawi, Oktober 1991
- [15] Harral, C.G.; Faiz, A.: The highway design and maintenance standards model (HDM): model structure, empirical foundations and applications. PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, 13-16 July 1979. PTRC Education and Research Services, London, UK, 1979
- [16] HDM-4 :Highway Development & Management, Version 1.0, Rechenprogramm.World Road Association (PIARC), März 2000
- [17] HDM-4 :Highway Development & Management, Version 1.3, Rechenprogramm.World Road Association (PIARC), Januar 2002
- [18] HDM-4/WORLD BANK: Improving Road Management and Finance. Introductory Report, Oktober 1999
- [19] Hoban C.; Reilly W.; Archondo-Callao R.: Economic Analysis of Road Projects with Congested Traffic – Methods for Economic Evaluation of Highways Investments and Maintenance Transport Division, Transportation, Water & Urban Development Department. World Bank, Washington D.C.,USA, 1994
- [20] Hothan, J.: Studienunterlage, Konstruktiver Straßenbau. Hannover, 1997
- [21] Huschek, S.: Economically Justified Maintenance Effort on Unpaved Roads in Namibia. Report Nr. 498, Oktober 2001
- [22] Huschek, S.; Stütze, T.: Das Highway Development and Management System HDM-4 - ein volkswirtschaftlicher Rechenansatz für die Straßenerhaltung. Straße + Autobahn ,Heft 3/2002
- [23] Kameruner Wetterdienst: Klimaatlas Kamerun. Douala, Januar 2003
- [24] Kerali, H.G.R.: HDM-4 Volume 1: Vue d'Ensemble. AIPCR, Paris, 2000. ISBN: 2-84060-060-059-5

- [25] Kerali, H:G:R.; McMullen, D.; Odoki, J.B.: HDM-4 Volume 2: Applications Guide. The World Road Association PIARC, 2000. ISBN: 2-84060-061-7
- [26] Kouam, A.: Bodenmechanische Eigenschaften tropischer Böden Kameruns und Verfestigungsmöglichkeiten im Straßenbau. Dissertation, Berlin 2000
- [27] LABOGENIE: Aperçu général sur les sols du Cameroun. Yaounde, 2000.
- [28] LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées , Bulletin 213 des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, Januar-Februar 1998
- [29] LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ,Bulletin 186 des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, Juli - August 1993
- [30] LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ,Bulletin 193 des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, Septembre - Oktober 1994
- [31] LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bulletin 213 des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, Januar-Februar 1998
- [32] LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bulletin 226 des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, Mai - Juni 2000.
- [33] LCPC :Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bulletin 227 des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, Juli-August 2000
- [34] Lottmann, A.: Tragfähigkeit und Frostempfindlichkeit von kalkbehandelten bindigen Böden im Planungsbereich von Verkehrsflächen. Dissertation, Cottbus, November 2003.
- [35] Metschies, G. : Exercises for Fuel and Vehicle Taxation in African Country. GTZ, June 2003
- [36] Metschies, G. P.; Rausch, E.: Financing Road Maintenance in West Africa. GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Januar 2000
- [37] Ministère des Travaux Publics (MINTP): Etat des Routes du Réseau Prioritaire. Yaounde, Mars 2003
- [38] Ministère des Travaux Publics (MINTP): Liste des routes du Réseau Prioritaire du Cameroun. Yaoundé, Mars 2003
- [39] NDLI: Modelling Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4. Final Report Asian Development Bank Project RETA 5549, N.D. Lea International, Vancouver, 1995

- [40] Nyatanyi, I.: Einsatzmöglichkeiten von Schaumbitumen im Straßenbau von Entwicklungsländern am Beispiel Burundi. Dissertation, Bochum 2001
- [41] Odoki, J.B; Kerali H.G.R.:HDM-4 Volume 4: Analytical Framework and Model Descriptions. The World Road Association, 2000. ISBN: 2-84060-062-5
- [42] Odoki, J.B.: Notes on the logic for total damaged and undamaged carriageway surface areas. ISOHDM Working Paper, University of Birmingham, UK, 1998
- [43] OECD: Organisation for economic Co-Operationand development: Asset Management for the Roads Sector. Ausgabe 2001
- [44] Paterson W.D.O.: Notes on modelling the deterioration of drainage. Communication to the ISOHDM, 1998
- [45] Paterson, W.D.O.; Bennett, C.R.: HDM-4 Volume 5: A Guide to Calibration and Adaptation. The World Road Association, 2000. ISBN: 2-84060-063-3
- [46] Paterson W.D.O.: Road Deterioration and Maintenance Effects. World Bank Publications, Waschington, D.C., USA, 1987
- [47] RAS-Q 96 :Richtlinien für die Anlage von Straßen. FGSV, Köln 1996
- [48] Riley, M.J.: Proposed amendments to the potholing component of roughness. Communication to theISOHDM, 1998
- [49] Rizkallah, V.: Studienunterlage. Experimentelle Bodenmechanik: Universität Hannover, 1997.
- [50] Sammlung – Informationen aus dem Bauministerium (Ministère des Travaux Publics, Direction des Routes) und aus dem Verkehrsministerium, Yaoundé, März 2004
- [51] Sandel, G.: Kalibrierungsmöglichkeiten des HDM-4-Rechenprogramms für die Straßenerhaltung. Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Fachgebiet Konstruktiver Straßenbau, Studienarbeit, Hannover, 2002
- [52] Schmuck, A. :Grundlagen zur Entwicklung von Expertensystemen für das Management der Straßenerhaltung, München – Neubiberg, 1993
- [53] Schmuck, A.: Straßenerhaltung mit System. Grundlagen des Managements. Kirschbaum Verlag, Bonn 1987
- [54] Schmuck, A.: Management der Straßenerhaltung – Einführung in die Thematik. FGSV -Kolloquium am 20. und 21. September 1984 in Neubiberg. Köln, 1985

- [55] Schmuck, A.; Poppinga A.: Ratgeber Straßen- und Brückenerhaltung. Stein-Verlag, Baden-Baden, 1991
- [56] Schroeter, H; Ramaer, R: Die Eisenbahnen in den einst deutschen Schutzgebieten, Damals und Heute. Röhr Verlag, 1993
- [57] Seminarunterlagen: Financer l'Entretien Routier et Gérer les Fonds d'Entretien Routier. La formation Continue de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 22.06 bis 28.06.2005.
- [58] Stütze, T.: Das Highway Development and Management System HDM-4 – ein volkswirtschaftlicher Rechenansatz für die Straßenerhaltung. Vortrag aus dem Jahr 2000
- [59] Stütze, T.: Volkswirtschaftlich gerecht fertigte Interventionswerte für die Erhaltung von Bundesautobahnen. Berlin, 2004.
- [60] Sub, A.: Vergleich der Wirkung verschiedener Prognoseszenarien für die Autobahnverbindung Berlin-Moskau mit Hilfe des HDM-4 Rechenprogramms. Hannover, März 2003
- [61] The Highway Design and Maintenance Standards Model – Volume 1: Description of the HDM-III Model. World Bank Publications, Washington, D.C.; 1987
- [62] TRRL Overseas Unit: A Guide to Road Project Appraisal. Transport and Road Research Laboratory Overseas, Road Note 5, Crowthorne, UK, 1988
- [63] VIZIR: Méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier. Laboratoire des Ponts et Chaussées, Paris, Dezember 1991
- [64] Voth, K.: Boden, Baugrund und Baustoff. Bauverlag, 1978
- [65] Walter, H.; Lieth, H.: Klimadiagramm – Weltatlas. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1967
- [66] Wandeu, J.D.; Tchokotchou, H.: Etude des sols du Cameroun: Amélioration des paramètres géotechniques par mélanges pondéraux des matériaux sables argileux et pouzzolane pour la construction routière. Mémoire, ENSET, Université Douala – Kamerun, Juli 1993
- [67] Watanatada T.; Harral C.G.; Paterson W.D.O.; Dhareshwar A.; Bhandari A.; Tsunokawa, K.: The Highway Design and Maintenance Standards Model, World Bank, The John Hopkins University Press, Baltimore, USA, 1987

-
- [68] Wightman D.C.; Stannard, E.S.; Dakin, J.M.: HDM-4 Volume 3: Software User Guide. The World Road Association (PIARC), 2000. ISBN: 2-84060-061-7
 - [69] Wolter, M.: BOT im Bauwesen, Grundlagen, Risikomanagement, Praxisbeispiele. Springer Verlag, Berlin, Juli 2003.
 - [70] Wupperfeld, Udo: Rendite, in: Feucht, Michael, Praxis-Lexikon Finanzmanagement. Landsberg/Lech, 2001.
 - [71] www.bmz.de: Transport und Verkehr – Zukunftsfähige Mobilität für eine gerechte und nachhaltige Entwicklung. Dezember 2003.
 - [72] ZTV Asphalt.: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt. FGSV 2001
 - [73] ZTV BEA - StB 98: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen - Asphaltbauweisen. FGSV 1998
 - [74] ZTVT - StB.95: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau. FGSV 1994

Anlagen

Anlagenverzeichnis

Anlage A1: Straßendaten

Anlage A2: Projektanalyse Douala - Yaounde

Anlage A3: Strategieanalyse

Anlage A4: Erhaltung aus betriebstechnischer Sicht von
unrentabler nationale ungebundene Strecken

A.1 Eingabengröße Straßendaten

A.1.1 Fahrbahnstruktur

- **Erste Option:** Eingabe des justierten „*Structural Number of Pavement*“ (SNP)-Wertes

- **Zweite Option:** Benkelman-Balken-Einsenkung (*Benkelman beam deflections*)

Die Beziehung, die den Benkelman-Balken-Einsenkungsmeßwert (DEF) zu SNP konvertiert ist wie folgt angegeben:

- Für ungebundene Tragschichten:

$$\text{SNPs} = 3,2 (\text{DEF}_s)^{-0,63} + \text{dSNPK} \quad (\text{Gleichung A1-1})$$

- Für gebundene Tragschichten:

$$\text{SNPs} = 2,2 (\text{DEF}_s)^{-0,63} + \text{dSNPK} \quad (\text{Gleichung A1-2})$$

dSNPK =

$$7,58 \cdot 10^{-5} \cdot \{ \text{MIN}(63, \text{ACX}_a) \cdot \text{HSNEW} + \text{MAX}[\text{MIN}(\text{ACX}_a - \text{PACX}, 40), 0] \cdot \text{HSOLD} \}$$

(Gleichung A1-3)

Mit:

DEF_s	Benkelman-Balken-Einsenkungsmeßwert unter 80 kN Achslast, 520 kPa Reifendruck und 30 °C mittlere Asphalttemperatur in Saison s (in mm)
dSNPK	Reduktion des justierten SNP infolge Rissbildung
ACX_a	Bereich der vorhandenen Rissbildung am Anfang des Analysejahres (in % der totalen Straßenoberfläche)
PACX	Bereich der Rissbildung der alten Oberfläche (in % der totalen Straßenoberfläche)
HSNEW	Dicke der neuesten Straßenoberfläche (mm)
HSOLD	Totale Dicke der vorherigen unteren Straßenschichten (mm)

- **Dritte Option:** Fallgewichts-Einsenkungsmesswert (*Falling Weight Deflections* FWD)

Der Fallgewichts-Einsenkungsmesswert bei 700 kPa in Lastmitte wird als Äquivalent des Benkelman-Balken-Einsenkungsmeßwert angenommen. Mit den Gleichungen der zweiten Option (Gleichungen A1-1, A1-2 und A1-3) kann dann der SNP berechnet werden.

***Beispiel:** Reduktion des justierten SNP infolge Rissbildung einer Fernstraße F: Asphaltdeckschicht: 60mm, Asphaltbinderschicht: 120 mm und Schottertragschicht: 300 mm (nach Gl. A1-3).

In der Tabelle A1-1 und der Tabelle A1-2 sind die Defaultwerte (HDM-4-Programm) der Rissbildung, der Ausmagerungen, der Anzahl der Schlaglöchern, der

Kantenabbrüche, der Spurrinnentiefe, der Texturtiefe und der Griffigkeit bei unterschiedlichem Ausgangszustände.

Tabelle A1-1: Straßenzustandsmerkmale der Oberflächenbeschaffenheit für asphaltierte Fernstraßen [46]

		new	good	fair	poor	bad
Oberflächenbeschaffenheit (<i>surface condition</i>)	Rissbildung [%] (<i>cracking</i>)	0	0	5	15	25
	Ausmagerungen [%] (<i>Ravelling</i>)	0	1	10	20	30
	Anzahl der Schlaglöcher [Anz/km] (<i>Number of Potholes</i>)	0	0	0	5	50
	Kantenabbrüche [m ² /km] (<i>Edge break</i>)	0	0	10	100	300
	Spurrinnentiefe [mm] (<i>mean rut depth</i>)	0	2	5	15	25

Tabelle A1-2: Straßenzustandsmerkmale der Oberflächenstruktur für asphaltierte Fernstraßen [46]

		good	fair	slippery (glatt)
Oberflächentextur (<i>surface texture</i>)	Texturtiefe [mm] (<i>Texture depth</i>)	0,70	0,50	0,30
	Griffigkeit [SCRIM 50km/h] (<i>Skid resistance</i>)	0,50	0,40	0,30

Es wird angenommen, dass am Anfang des Analysejahres die Straße im sehr schlechten Zustand ist. Man hat damit die Möglichkeit die Reduktion des justierten SNP infolge Rissbildung zu berechnen, wenn die alte Straßenoberfläche in aller Zustände (gut, angemessen, schlecht und sehr schlecht) ist.

ACX_a	HSNEW	HSOLD	PACX (<i>good</i>)	PACX (<i>fair</i>)	PACX (<i>poor</i>)	PACX (<i>bad</i>)
20	60	420	0	5	15	20

Zustand der alten Straßenoberfläche	Reduktion des justierten SNP infolge Rissbildung
gut	0,72768
angemessen	0,56850
schlecht	0,25014
sehr schlecht	0,09096

- **Vierte Option:** Lagenkoeffizienten der Schichtdicken und der CBR-Wert des Untergrundes (*Layer thickness, strength coefficients and subgrade CBR*).

$$SNBASUs = (0.0394) \cdot \sum_{i=1}^n a_{is} h_i \quad (\text{Gleichung A1-4})$$

$$SNSUBAs = (0.0394) \cdot \sum_{j=1}^m a_{js} \left\{ \left(\frac{b_0 \exp(-b_3 z_j)}{-b_3} + \frac{b_1 \exp[-(b_2 + b_3) z_j]}{(b_2 + b_3)} \right) - \left(\frac{b_0 \exp(-b_3 z_{j-1})}{-b_3} + \frac{b_1 \exp[-(b_2 + b_3) z_{j-1}]}{(b_2 + b_3)} \right) \right\} \quad (\text{Gleichung A1-5})$$

$$SNSUBGs =$$

$$[b_0 - b_1 \exp(-b_2 z_m)] \cdot [\exp(-b_3 z_m)] \cdot [3,51 \cdot \log_{10}(CBR_s) - 0,85[\log_{10}(CBR_s)]^2 - 1,43]$$

(Gleichung A1-6)

Mit:

SNPs	Justierte SNP für die Saison (Jahrzeit) s
SNBASUs	Anteil der Deckschicht (<i>surfacing</i>) der Binderschicht, und der Asphalttragschicht (<i>base</i>) für die Saison s
SNSUBAs	Anteil der ungebundenen Tragschichten und der Frostschutzschicht (<i>sub-base</i>) für die Saison s
SNSUBGs	Anteil des Untergrundes (<i>subgrade</i>) für die Saison s
n	Anzahl der Deckschicht (<i>surfacing</i>), der Binderschicht und der Asphalttragschicht (<i>base</i>) ($i = 1, 2, \dots, n$)
a_{is}	Lagenkoeffizient für die Schicht (<i>base</i> oder <i>surfacing</i>) i für die Saison s
h_i	Dicke der Schicht (<i>base</i> oder <i>surfacing</i>) i; in mm
m	Anzahl der ungebundenen Tragschichten und der Frostschutzschicht (<i>sub-base</i>) für die Saison s ($j = 1, 2, \dots, m$)
z	Tiefe gemessen ab der oberen Ebene der <i>sub-base</i> (untere Ebene der <i>base</i>); in mm
z_j	Tiefe der unteren Ebene der Schicht Nummer j ($z_0 = 0$); in mm
CBR_s	CBR-Wert (<i>California Bearing Ratio</i>) in situ für die Saison s
a_{js}	Lagenkoeffizient für die ungebundene Tragschichten und die Frostschutzschicht (<i>sub-base</i>) für die Saison s
b_0, b_1, b_2, b_3	Modellkoeffizienten

A.1.2 Bestandteile der Längsunebenheit der asphaltierten Straßen

A.1.2.1 Struktureller Bestandteile

$$\Delta RIs = ao \cdot \exp(m \cdot K_{gm} \cdot AGE3) \cdot (1 + SNPK_b)^{-5} \cdot YE4 \quad (\text{Gleichung A1-7})$$

und:

$$SNPK_b = MAX [(SNP_a - dSNPK) , 1,5] \quad (\text{Gleichung A1-8})$$

und:

$$dSNPK = K_{snpk} \cdot ao \cdot \left\{ \begin{array}{l} MIN(a_1, ACX_a) \cdot HSNEW + \\ MAX [MIN(ACX_a - PACX, a_2), 0] \cdot HSOLD \end{array} \right\} \quad (\text{Gleichung A1-9})$$

Mit:

ΔRIs	zusätzliche Veränderung der Längsunebenheit infolge der strukturellen Verschlechterung während des Analysejahres (IRI m/km)
$dSNPK$	Reduktion der justierten <i>Structural Number of Pavement</i> (SNP) infolge Rissbildung
$SNPK_b$	justierte SNP infolge Rissbildung (<i>cracking</i>) am Ende des Analysejahres
SNP_a	justierte SNP am Anfang des Analysejahres
ACX_a	Bereich der vorhandenen Rissbildung am Anfang des Analysejahres (in % der totalen Straßenoberfläche)
$PACX$	Bereich der Rissbildung der alten Oberfläche (in % der gesamten Straßenoberfläche)
$HSNEW$	Dicke der neuesten Straßenoberfläche (mm)
$HSOLD$	gesamte Dicke der vorherigen unteren Straßenschichten (mm)
$AGE3$	Straßenalter seit der letzten Oberflächebehandlung (Rehabilitation), Rekonstruktion oder Neubau (in Jahr)
$YE4$	$YE4 = \sum_{k=1}^K \frac{T_k \cdot ESALF_k}{ELANES \cdot 10^6} =$ Jährliche gesamte Anzahl der Standardachslastübergänge (in <i>millions/lane</i>)
	T_k = Jährliches Verkehrsaufkommen des Fahrzeugtyps k
	$ESALF_k$ = Äquivalenter Standardachsenfaktor des Fahrzeugtyps k
	$ELANES$ = Effektive Anzahl der Fahrstreifen des Straßenabschnittes
m	Klimakoeffizient (s. <u>Tabelle A1-3</u>)
K_{gm}	Kalibrierungsfaktor für Klimakoeffizient
K_{snpk}	Kalibrierungsfaktor für SNPK
$ao, a1, a2$	s. <u>Tabelle A1-4</u>

Die Werte der Klimakoeffizienten sind in der TabelleA1-3 zu sehen.

TabelleA1-3: Längsunebenheitsklimakoeffizient m gemäß der Klimazonen [70]

Feuchtigkeitsklasse	Temperaturklasse				
	Tropical	Sub-tropical hot	Sub-tropical cool	Temperate cool	Temperate freeze
Arid (trocken)	0,005	0,010	0,015	0,025	0,040
Semi-arid	0,010	0,015	0,025	0,035	0,060
Sub-humid	0,020	0,025	0,040	0,060	0,100
Humid (feucht)	0,025	0,030	0,060	0,100	0,200
Per-humid	0,030	0,040	0,070		

* **Beispiel:** Veränderung der strukturellen Bestandteil der Längsunebenheit einer Fernstraße gemäß der Klimazonen nach Gl. A1-7, A1-8 und A1-9.

a_0 <u>Tabelle A1-4</u>	K_{gm} (Annahme)	AGE 3 (Annahme)	SNP_a (Annahme: Straße im sehr schlechten Zustand)	$dSNPK$ (Zustand der alten Straßenoberfläche: gut)	YE 4 (Annahme)	m
134	1	10	2,5	0,72768	0,524	Klimakoeffizient (s. <u>TabelleA1-3</u>)

$$\Delta RI_s = 0,42876 \cdot \exp(10 \cdot m)$$

A1.2.2 Anzahl der Schlaglöchern (Potholing)

$$FM = (MAX \{ MIN[0,25(CW-3), 1] , 0 \}) \cdot \left\{ MAX \left[\left(1 - \frac{AADT}{5000} \right), 0 \right] \right\} \quad (\text{Gleichung A1-10})$$

$$\Delta RI_t = a_0 \cdot (a_1 - FM) \cdot \Delta NPT \cdot \left(NPT_a + \frac{\Delta NPT}{2} \right)^{a_2} \quad (\text{Gleichung A1-11})$$

Mit:

FM	<i>freedom to manoeuvre</i>
CW	Fahrbahnbreite (in m)
AADT	Durchschnittlich täglicher Verkehr (in Kfz/Tag)
ΔRI_t	inkrementale Veränderung der Längsunebenheit infolge Schlaglöcher während des Analysejahres (in IRI m/km)
ΔNPT	inkrementale Veränderung der Anzahl der Schlaglöcher pro km während des Analysejahres
NPT_a	Anzahl der Schlaglöcher pro km am Anfang des Analysejahres

Beispiel: Berechnung der Veränderung der Längsunebenheit infolge Schlaglöchern

CW (Annahme)	AADT (Annahme)	FM nach Gl. A.1-10
7 m	3000 Kfz/Tag	0,4

Es wird angenommen, dass am Anfang des Analysejahres die Straße im sehr schlechten Zustand ist.

$$\Delta RIt = a_o \cdot (a_1 - FM) \cdot \Delta NPT \cdot \left(NPT_a + \frac{\Delta NPT}{2} \right)^{a_2}$$

a _o	a ₁	a ₂	FM	NPT _a	ΔNPT				ΔRIt			
					good	fair	poor	bad	good	fair	poor	bad
0,00019	2	1,5	0,4	50	0	0	5	50	0	0	0,5782	9,8726

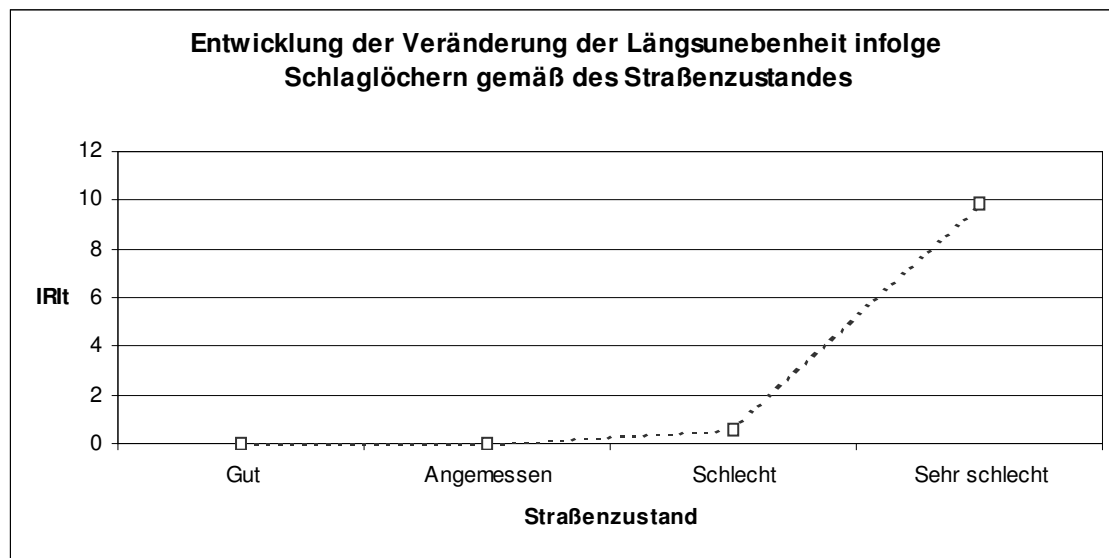


Abbildung A1-1: Entwicklung der Veränderung der Längsunebenheit infolge Schlaglöchern

Die Werte des Koeffizienten der verschiedenen Bestandteile der Längsunebenheit sind in der Tabelle A1-4 zu finden.

Tabelle A1-4: Defaultwerte der Koeffizienten der verschiedenen Bestandteile der Längsunebenheit

Bestandteil der Längsunebenheit	Gleichung	a _o	a ₁	a ₂
Struktureller Bestandteil	A1-7	134		
Reduktion der justierten SNP: dSNPK	A1-9	0,0000758	63,0	40,0
Anzahl der Schlaglöcher	A1-11	0,00019	2,0	1,5

A1.3 Längsunebenheit der ungebundenen Straßen

A1.3.1 Maximale Längsunebenheit

*Beispielberechnung der maximalen Längsunebenheit je Straßendeckenmaterialtyp

C Durchschnittliche horizontale Kurvigkeit (Annahme)	RF Durchschnittliche Steigung + Gefälle (Annahme)	MMP Durchschnittlicher monatlicher Niederschlag (Annahme)
75 Grad/km	15 m/km	334 mm

Straßen-deckematerialtyp	$MGD_j = \frac{P075_j}{P425_j}$	$QIMAX_j$	$IRI_{MAX_j} = QIMAX_j / 13$
Laterit Kies	0,6129	240,37	18,49
Quartzit Kies	0,5426	244,98	18,84
Vulkanischer Kies eckig	0,6184	239,84	18,44
Koralle Kies eckig	0,5102	245,70	18,90
Erde	0,8268	200,77	15,44

*Beispielberechnung der maximalen Längsunebenheit für Laterit Kies je Klimazone nach Gl. 3-5

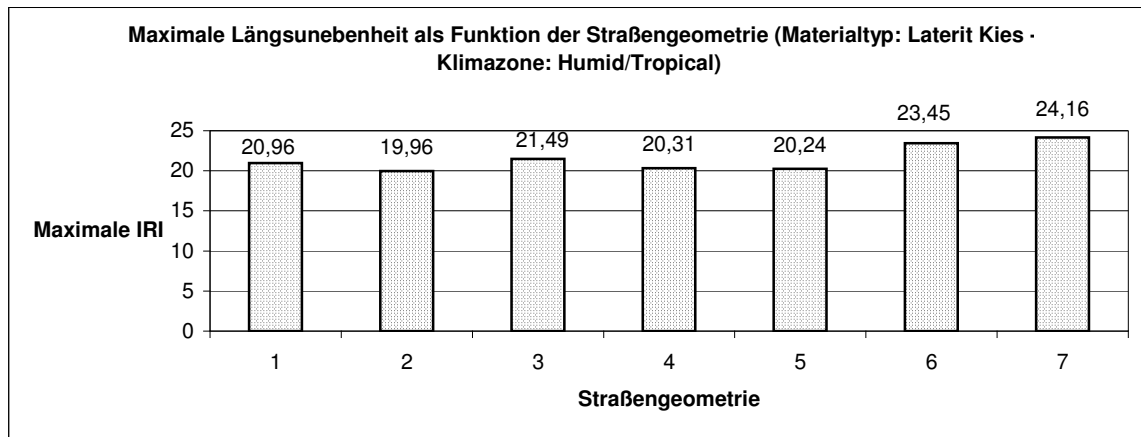
Annahme: $C = 75$ und $RF = 15$

$$MGD_j = \frac{P075_j}{P425_j} = 0,6129 \text{ (Laterit Kies)}$$

Klimazonen	Arid/Tropical	Semi-arid/Tropical	Sub-Humid/Tropical	Humid/Tropical	Per-Humid/Tropical
MMP [mm]	15	50	100	175	210

*Entwicklung der maximalen Längsunebenheit als Funktion der Straßengeometrie für Laterit Kies (Klimazone: Humid-Tropical)

Geometrie Klasse	Klasse	Durchschnittliche horizontale Kurvigkeit (C) in Grad/km	Durchschnittliche Steigung + Gefälle RF (in m/km)
<i>Straight and level</i>	1	3	1
<i>Mostly straight and gently undulating</i>	2	15	10
<i>Bendy and generally level</i>	3	50	3
<i>Bendy and gently undulated</i>	4	75	15
<i>Bendy and severaly undulating</i>	5	150	25
<i>Wending and gently undulating</i>	6	300	20
<i>Wending and severaly undulating</i>	7	500	40



AbbildungA1-2: Beispiel der maximalen Längsunebenheit als Funktion der Straßengeometrie

A1.3.2 Effekt des Einebnens der Straßenoberfläche (*Grading*) auf die Entwicklung der Längsunebenheit

$$QI_{(ag)} = QIMIN_j + a \cdot (QI_{(bg)} - QIMIN_j) \quad (\text{Gleichung A1-12})$$

Mit:

$QI_{(ag)}$	Längsunebenheit nach dem Einebnen der Straßenoberfläche
$QI_{(bg)}$	Längsunebenheit vor dem Einebnen der Straßenoberfläche
$QIMIN_j$	Minimum der Längsunebenheit des Materials j
a	Modellparameter

Der Modellparameter a wird wie folgt berechnet:

$$a = 0,553 + 0,230 \cdot MGD_j \quad (\text{Gleichung A1-13})$$

*Beispielberechnung des Effekts des Einebnens der Straßenoberfläche (*Grading*) auf die Entwicklung der Längsunebenheit für Laterit Kies nach Gl. A1-12

$$MGD_j = 0,6129 \quad a = 0,553 + 0,230 \cdot MGD_j = 0,69398 \quad (\text{Annahme: } QIMIN = 4)$$

A1.3.3 Effekt der Verdichtung auf die Entwicklung der Längsunebenheit

$$c' = c \cdot MIN \left[1, \quad 0,25 \cdot t \cdot MAX(1, n^{0,33}) \right] \quad (\text{Gleichung A1-14})$$

Mit:

t	Zeit in Jahren seit der Konstruktion oder <i>Regravelling</i> mit der mechanischen Verdichtung
n	Häufigkeit des <i>Gradings</i> (Zyklus/Jahr)

Und

$$b' = \exp \left[365 \cdot \frac{c'}{n} \right] \quad (\text{Gleichung A1-15})$$

Mit b' and c' werden die Werte von b und c angewendet (s. oben), wenn die mechanische Verdichtung in Frage kommt.

A1.3.4 Minimale Längsunebenheit

$$Q_{IMIN_j} = \text{MAX} \{10, \text{MIN} [100, 4,69 \cdot D95_j \cdot (1 - 2,78 \cdot MG_j)]\} \quad (\text{Gleichung A1-16})$$

Mit:

MG_j	Steigung der mittleren Materialabstufung („slope of mean material gradation“)
$D95_j$	Maximale Korngröße des Materials, definiert als das äquivalente Sieb, durch das 95% des Materials passen kann (in mm)

Der „slope of mean material gradation“ wird wie folgt berechnet:

$$MG_j = \text{MIN} (MGM_j, 1 - MGM_j, 0,36) \quad (\text{Gleichung A1-17})$$

$$MGM_j = \frac{(MG075_j + MG425_j + MG02_j)}{3} \quad (\text{Gleichung A1-18})$$

Der Parameter $MG075_j$ wird wie folgt berechnet:

Wenn $D95_j > 0,4$

$$\text{Dann:} \quad MG075_j = \frac{\log_e \left(\frac{P075_j}{95} \right)}{\log_e \left(\frac{0,075}{D95_j} \right)} \quad (\text{Gleichung A1-19})$$

$$\text{Ansonsten:} \quad MG075_j = 0,3 \quad (\text{Gleichung A1-20})$$

Der Parameter $MG425_j$ wird wie folgt berechnet:

Wenn $D95_j > 1,0$

Dann:
$$MG425_j = \frac{\log_e \left(\frac{P425_j}{95} \right)}{\log_e \left(\frac{0,425}{D95_j} \right)} \quad (\text{Gleichung A1-21})$$

Ansonsten:
$$MG425_j = 0,3 \quad (\text{Gleichung A1-22})$$

Der Parameter $MG02_j$ wird wie folgt berechnet:

Wenn $D95_j > 4,0$

Dann:
$$MG02_j = \frac{\log_e \left(\frac{P02_j}{95} \right)}{\log_e \left(\frac{2,0}{D95_j} \right)} \quad (\text{Gleichung A1-23})$$

Ansonsten:
$$MG02_j = MG425_j \quad (\text{Gleichung A1-24})$$

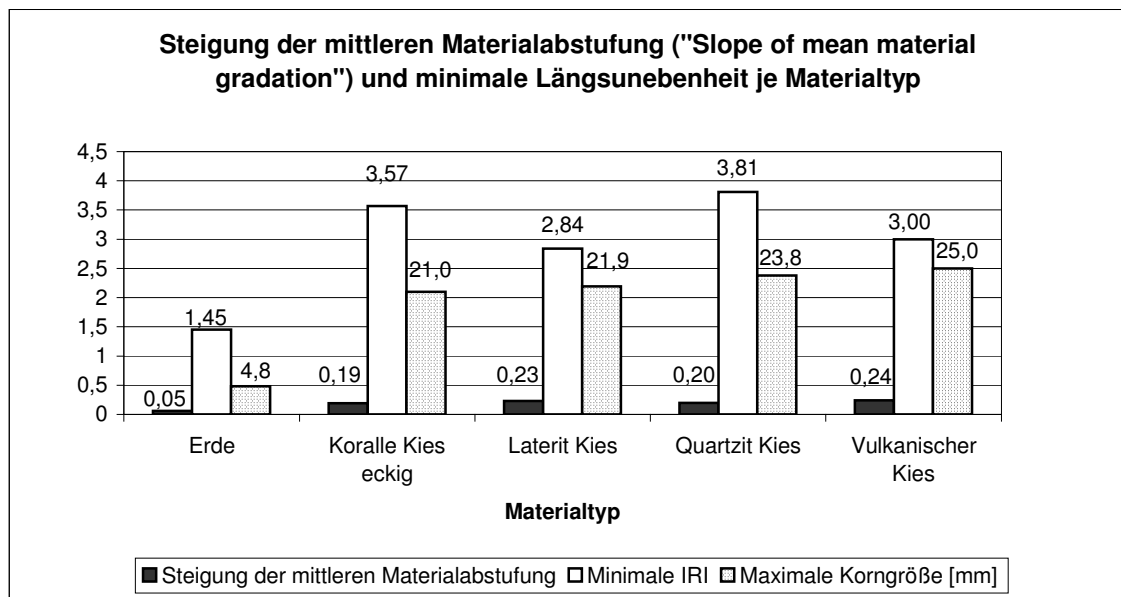
Bemerkung: Der Standardfehler auf der ursprünglichen Datenbank ist hier 2,4 m/km IRI [70].

*Beispielberechnung der Steigung der mittleren Materialabstufung („*Slope of mean material gradation*“) und der minimalen Längsunebenheit je Straßendeckematerialtyp nach Gl. A1-16, A1-17 und A1-18

Deckschichtematerial	maximale Korngröße (mm)	$MG075_j$	$MG425_j$	$MG02_j$	MG_j (Gl. A1-17)	$QIMIN_j$ (Gl. A1-16)	IRI_{MIN}
Laterit Kies	21,9	0,23	0,20	0,25	0,23	37,00	2,84
Quartzit Kies	23,8	0,23	0,18	0,20	0,20	49,56	3,81
Vulkanischer Kies eckig	25,0	0,24	0,22	0,25	0,24	39,02	3,00
Koralle Kies eckig	21,0	0,23	0,16	0,16	0,19	46,46	3,57
Erde	4,8	0,07	0,04	0,05	0,05	18,88	1,45

*Bemerkung: Für alle Materialtypen, $MG_j = MGM_j$

Die mittlere Materialabstufung und die minimale Längsunebenheit je Deckschichtenmaterialtyp ist in der Abbildung A1-3 dargestellt.



AbbildungA1-3: Steigung der mittleren Materialabstufung („Slope of mean material gradation“) und minimale Längsunebenheit alle Deckschichtenmaterialtypen der ungebundenen Straßen

A.1.3.5 Mittlerer Wert der Längsunebenheit während des Analysejahrs

Fall 1: Wenn $(t \cdot n) \geq 1$

Der mittlere IRI während des Jahres t wird wie folgt berechnet:

$$QI_{avg} = QIMAX_j \cdot (1 - y) + \left[\frac{y \cdot NS}{n} \right] \quad (\text{GleichungA1-25})$$

$$y = \frac{(b-1) \cdot n}{365 \cdot c} \quad (\text{Gleichung A-26})$$

$$NS = \frac{\left\{ n \cdot k + [1 - (a \cdot b)^n] \cdot QI_a - \left[\frac{k(1 - (a \cdot b)^n)}{1 - a \cdot b} \right] \right\}}{(1 - a \cdot b)} \quad (\text{GleichungA1-27})$$

$$k = (1 - a) \cdot QIMIN_j + a \cdot (1 - b) \cdot QIMAX_j \quad (\text{Gleichung A1-28})$$

Mit:

QI_{avg}	Mittlere Längsunebenheit im Jahr t
$QIMAX_j$	Maximale Längsunebenheit des Materials j
$QIMIN_j$	Minimale Längsunebenheit des Materials j
n	Häufigkeit des <i>Grading</i> (Zyklus/Jahr)
QI_a	Längsunebenheit am Anfang des Jahres
a	Wie oben definiert (s. Gleichung A1-13)
b	s. Gleichung 3-8, aber b wird als b' (Gl. A1-15) definiert wenn die mechanische Verdichtung in Frage kommt
c	s. Gleichung 3-9, aber c wird als c' (Gl. A1-14) definiert wenn die mechanische Verdichtung in Frage kommt
QI_b	Längsunebenheit am Ende des Jahres

Die Längsunebenheit am Anfang des Jahres wird wie folgt ermittelt

- Erstes Jahr der Analyseperiode

$$t=1, \quad QI_a = QI_0 \quad (\text{Gleichung A1-29})$$

(vom Nutzer anzugebender Wert).

- Nachfolgende Analysejahre t

$$QI_b = (a \cdot b)^n \cdot QI_a + \frac{k \cdot [1 - (a \cdot b)^n]}{(1 - a \cdot b)} \quad (\text{Gleichung A1-30})$$

Alle Parametern sind bereits definiert (s. oben).

Fall 2: Wenn $(t \cdot n) < 1$

Der mittlere IRI während des Jahres und am Ende des Jahres t setzen sich zusammen aus der maximalen Längsunebenheit, am Anfang des Jahres sowie dem Grad der Verdichtung (Modellkoeffizient c).

$$QI_{avg} = QIMAX_j - (QIMAX_j - QI_a) \cdot \frac{[\exp(365 \cdot c) - 1]}{365 \cdot c} \quad (\text{Gleichung A1-31})$$

$$QI_b = QIMAX_j - (QIMAX_j - QI_a) \cdot \exp(365 \cdot c) \quad (\text{Gleichung A1-32})$$

Alle Parametern sind bereits definiert (s. oben).

A2.1 Bodenmechanische Untersuchungen

Tabelle A2-1: Korngrößenverteilung der Bodenprobe toniger Sand und Puzzolan

		Massenanteile der Körner < d in % der Gesamtmenge			
		Toniger Sand PK 4.000	Toniger Sand PK 4.500	Puzzolan von Djoungo	Puzzolan von Limbé
Korndurchmesser d [mm]	31,5	100	100	100	95
	20	100	100	100	90
	16	100	100	65	88
	10	100	100	51	81
	5	100	100	40	58
	2	98,5	95,0	25,0	35,0
	1	86	80	18	25
	0,5	60	60	15	19
	0,08	26,0	32,0	9,0	8,9

Tabelle A2-2: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse Korngrößenverteilung

Gemisch		Massenanteile der Körner < d in % der Gesamtmenge										
		10/90		30/70		40/60	50/50		70/30		90/10	
		G1	G2	G1	G2	G1	G1	G2	G1	G2	G1	G2
Korndurchmesser d [mm]	16	99	100	98	99	98	98	99	98	100	92	97
	10	96	99	95	82	92	87	89	91	91	70	70
	5	94	97	90	65	83	76	78	68	81	45	51
	2	92	89	76	48	72	65	63	54	66	33	35
	1	81	74	64	39	61	54	51	44	53	27	24
	0,5	59	56	46	29	29	39	27	32	40	20	22
	0,08	26,0	20,0	20,0	18,0	18,0	16,0	17,0	16,0	15,0	14,0	10,2

Tabelle A2-3: Anforderungen der französischen Norm NF P98 129 (Grave 0/20)

		Massenanteile der Körner < d in % der Gesamtmenge	
		Minimalwert	Maximalwert
Korndurchmesser d [mm]	31,5	100	100
	20	85	99
	10	55	82
	6,3	40	70
	4	32	60
	2	25	49
	0,5	16	30
	0,2	12	22
	0,08	8	16

BEZIEHUNG ZWISCHEN VERFORMUNGSMODUL UND CBR-WERTTabelle A2-4: Relation zwischen Verformungsmodul E_v und CBR-Wert (FLOSS 1973)

CBR [%]	E_{v1} [MN/m ²]	E_{v2} [MN/m ²]	
		bindig	nichtbindig
2,0	6,6	10,7	-
3,0	9,0	15,0	-
4,0	10,9	18,5	-
4,5	12,0	20,0	-
5,0	12,9	22,0	43,0
5,6	14,0	-	45,0
6,0	14,6	24,5	47,0
6,2	15,0	25,0	-
7,0	16,2	27,5	50,0
8,0	18,0	30,0	-
9,0	19,5	33,0	58,0
9,6	20,5	-	60,0
10,0	21,0	35,0	61,0
13,6	27,0	45,0	-
15,0	28,3	-	76,0
16,4	30,0	-	80,0
20,0	35,0	-	90,0
24,0	40,0	-	100,0
30,0	46,5	-	112,0
34,0	51,0	-	120,0
40,0	57,5	-	131,0
50,0	68,0	-	147,0
85,0	100,0	-	187,0

A2.2 Projektanalyse Douala – Yaounde

A2.2.1 Zusammenfassung der Unterhaltungs-, Erhaltungs- und Ausbaumaßnahmen des Straßenabschnittes Douala – PK86 sowie die Beschreibung der verschiedenen Erhaltungsaktivitäten

Tabelle A2-5: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Basisoption (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	1.750	218
2007	4,38	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	2.683	335
2008	4,72	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	4.447	555
2009	5,12	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	3.703	462
2010	5,74	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	12.824	1603
2011	6,65	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	18.690	2336
2012	7,91	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	25.762	3220
2013	9,55	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	29.589	3698
2014-2015	11,45-14,28	Nichts tun (IRI \geq 10)	-	0	-
2016-2025	16	Nichts tun (IRI \geq 10)	-	0	-
Summe		-		124.311	-

Tabelle A2- 6: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative A7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	4.214.000	602.000
2007 - 2012	4,31 – 5,27	Nichts tun	-	0	
2013	5,56	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1.203	85
		Oberflächenbehandlung		4.214.000	602.000
2014 - 2018	5,73 – 6,74	Nichts tun	-	0	
2019	7,10	-Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1525	108
		Oberflächenbehandlung	E4	4.214.000	602.000
2020 - 2023	6,93 – 7,79	Nichts tun	-	0	
2024	8,14	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	IRI \geq 8	66.220.000	602.000
2025	2,30	Nichts tun		0	
Summe				78.864.941	

Tabelle A- 7: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative B7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006 - 2008	4,12 – 4,72	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	22.200	1.108
2009	5,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	883	110
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	424	30
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	9.632.000	602.000
2010 - 2017	2,41 – 4,52	Nichts tun	-	0	
2018	5,02	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.182	147
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		933	66
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	9.632.000	602.000
2019 - 2025	2,42 – 4,46	Nichts tun	-	0	
Summe		-		19.289.622	

Tabelle A2-8: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative C7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	4.214.000	602.000
2007 - 2011	4,31 - 5,04	Nichts tun	-	0	
2012	5,27	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1.001	71
		Erneuerung der Deckschicht von 50mm	IRI > 5	9.632.000	602.000
2013 - 2020	2,44 - 4,46	Nichts tun	-	0	0
2021	4,82	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		1.083	77
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	9.632.000	602.000
2022 - 2025	2,35 - 3,29	Nichts tun	-	0	
Summe		-		23.480.297	-

Tabelle A2-9: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative D7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006 - 2009	4,12 – 5,12	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	31.459	1570
2010	5,74	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2509	313
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	511	36
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 6	9.632.000	602.000
2011 - 2018	2,64 – 4,86	Nichts tun	-	0	
2019	5,37	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	15.532	776
2020	6,04	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.391	298
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		1.128	80
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 6	9.632.000	602.000
2021 - 2025	2,76 – 4,12	Nichts tun	-	0	
Summe		-		19.317.530	

Tabelle A2-10: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative E7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	4.214.000	602.000
2007 - 2011	4,31 - 5,04	Nichts tun	-	0	
2012	5,27	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1.001	71
		Erneuerung der Deckschicht von 50mm	IRI \geq 5	9.632.000	602.000
2013 - 2020	2,44 - 4,46	Nichts tun	-	0	0
2021	4,82	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		1.083	77
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	9.632.000	602.000
2022 - 2025	2,35 - 3,29	Nichts tun	-	0	
Summe		-		23.480.297	-

Tabelle A2-11: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative A10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien	-	36.120.000	258.000
2007	3,67	Nichts tun	-	0	
2008	3,92	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2009-2015	4,14 – 5,24	Nichts tun	-	0	
2016	5,50	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2017-2022	5,68 – 6,91	Nichts tun	-		
2023	7,26	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2024-2025	7,08 - 7,36	Nichts tun	-	0	
Summe		-		56.558.337	

Tabelle A2-12: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative A10n (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	-Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den neuen Materialien	-	35.088.000	258.000
2007	3,67	Nichts tun	-	0	
2008	3,92	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2009-2015	4,14 – 5,25	Nichts tun	-	0	
2016	5,51	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2017-2022	5,69 – 6,93	Nichts tun	-		
2023	7,28	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2024-2025	7,10 - 7,38	Nichts tun	-	0	
Summe		-		55.526.337	

Tabelle A2-13: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative B10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	-Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien	-	36.120.000	258.000
2007-2010	3,67.- 4,56	Nichts tun	-	0	
2011	4,95	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	428	53
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	13.760.000	860.000
2012-2020	2,36 – 4,69	Nichts tun	-	0	
2021	5,10	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.039	129
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	13.760.000	860.000
2022-2025	2,44– 3,35	Nichts tun	-		
Summe		-		66.019.804	

Tabelle A2-14: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative B10n (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den neuen Materialien	-	35.088.000	258.000
2007-2010	3,67.- 4,56	Nichts tun	-	0	
2011	4,96	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	428	53
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	13.760.000	860.000
2012-2020	2,36 – 4,70	Nichts tun	-	0	
2021	5,11	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.039	129
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	13.760.000	860.000
2022-2025	2,44– 3,35	Nichts tun	-		
Summe		-		64.987.804	

Tabelle A2-15: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative C10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Material	-	36.120.000	258.000
2007	3,67	Nichts tun	-	0	
2008	3,92	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2009-2014	4,14 – 5,02	Nichts tun	-	0	
2015	5,24	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
2016-2024	2,43 - 4,79	Nichts tun	-	0	
2025	5,16	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
Summe		-		72.038.337	

Tabelle A2-16: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative C10n (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den neuen Material	-	35.088.000	258.000
2007	3,67	Nichts tun	-	0	
2008	3,92	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2009-2014	4,14 – 5,03	Nichts tun	-	0	
2015	5,25	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
2016-2024	2,43 – 4,79	Nichts tun	-	0	
2025	5,17	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
Summe		-		71.006.337	

Tabelle A2-17: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative D10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	-Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien	-	36.120.000	258.000
2007-2011	3,67.- 4,95	Nichts tun	-	0	
2012	5,48	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	19.303	965
2013	6,20	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	3.840	480
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI $>$ 6	13.760.000	860.000
2014-2022	2,80 – 5,34	Nichts tun	-	0	
2023	5,79	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.039	129
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 6	13.760.000	860.000
2024-2025	2,66– 2,97	Nichts tun	-		
Summe		-		66.042.519	

Tabelle A2-18: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative D10n (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	-Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den neuen Materialien	-	35.088.000	258.000
2007-2011	3,67.- 4,96	Nichts tun	-	0	
2012	5,48	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	19.303	965
2013	6,22	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	3.840	480
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI $>$ 6	13.760.000	860.000
2014-2022	2,81 – 5,35	Nichts tun	-	0	
2023	5,81	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.039	129
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 6	13.760.000	860.000
2024-2025	2,67– 2,97	Nichts tun	-		
Summe		-		65.010.519	

Tabelle A2-19: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative E10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Material	-	36.120.000	258.000
2007	3,67	Nichts tun	-	0	
2008	3,92	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2009-2014	4,14 – 5,02	Nichts tun	-	0	
2015	5,24	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
2016-2024	2,43 - 4,79	Nichts tun	-	0	
2025	5,16	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
Summe		-		72.038.337	

Tabelle A2-20: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative E10n (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Verbreiterung um 3 m mit den neuen Material	-	35.088.000	258.000
2007	3,67	Nichts tun	-	0	
2008	3,92	Oberflächenbehandlung	E4	6.020.000	860.000
2009-2014	4,14 – 5,03	Nichts tun	-	0	
2015	5,25	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
2016-2024	2,43 - 4,79	Nichts tun	-	0	
2025	5,17	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	13.760.000	860.000
Summe		-		71.066.337	

Tabelle A2-21: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative A14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material	-	84.280.000	602.000
2007-2008	3,21 – 3,43	Nichts tun	-	0	
2009	3,69	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2010-2017	4,90 – 5,15	Nichts tun	-	0	
2018	5,43	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2019-2024	5,64 – 6,84	Nichts tun	-		
2025	7,17	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
Summe		-		111.942.337	

Tabelle A2-22: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative A14n (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den neuen Material	-	81.872.000	602.000
2007-2008	3,19 – 3,38	Nichts tun	-	0	
2009	3,59	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2010-2018	4,78 – 5,09	Nichts tun	-	0	
2019	5,35	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2020-2025	5,57 – 6,65	Nichts tun	-		
Summe		-		101.106.337	

Tabelle A2-23: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative B14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material	-	84.280.000	602.000
2007-2012	3,21.- 4,70	Nichts tun	-	0	
2013	5,11	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.637	204
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	19.264.000	1.204.000
2014-2022	2,41 – 4,67	Nichts tun	-	0	
2023	5,07	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.455	181
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	19.264.000	1.204.000
2024-2025	2,42– 2,70	Nichts tun	-		
Summe		-		125.189.429	

Tabelle A2-24: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative B14n (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den neuen Material	-	81.872.000	602.000
2007-2013	3,19.- 4,78	Nichts tun	-	0	
2014	5,15	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.229	204
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	19.264.000	1.204.000
2015-2024	2,38 – 4,33	Nichts tun	-	0	
2025	4,72	Verfüllen von Schlaglöchern	E0	12.219	
Summe		-		103.528.785	

Tabelle A2-25: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative C14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material	-	84.280.000	602.000
2007 - 2008	3,21 – 3,43	Nichts tun	-	0	
2009	3,69	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2010-2016	3,90 – 4,92	Nichts tun	-	0	
2017	5,15	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	19.264.000	1.204.000
2018-2025	2,40 - 4,33	Nichts tun	-	0	
Summe		-		114.350.000	

Tabelle A2-26: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative C14n (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den neuen Material	-	81.872.000	602.000
2007 - 2008	3,19 – 3,38	Nichts tun	-	0	
2009	3,59	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2010-2017	3,78 – 4,88	Nichts tun	-	0	
2018	5,09	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	19.264.000	1.204.000
2019-2025	2,35 – 3,46	Nichts tun	-	0	
Summe		-		111.942.337	

Tabelle A2-27: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative D14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	-Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Materialien	-	84.280.000	602.000
2007-2013	3,21.- 5,11	Nichts tun	-	0	
2014	5,71	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	4.058	507
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 6	19.264.000	1.204.000
2015-2024	2,63 – 5,41	Nichts tun	-	0	
2025	5,99	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	3.415	426
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 6	19.264.000	1.204.000
Summe		-		125.193.810	

Tabelle A2-28: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative D14n (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	-Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den neuen Materialien	-	81.872.000	602.000
2007-2013	3,19 - 4,78	Nichts tun	-	0	
2014-2015	5,15 – 5,60	Verfüllen von Schlaglöchern	E0	26.003	1300
2016	6,17	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	6.540	817
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 6	19.264.000	1.204.000
2017-2025	2,73 – 4,51	Nichts tun	-	0	
Summe		-		103.546.880	

Tabelle A2-29: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative E14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material	-	84.280.000	602.000
2007-2008	3,21 – 3,43	Nichts tun	-	0	
2009	3,69	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2010-2016	3,90 – 4,92	Nichts tun	-	0	
2017	5,15	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 5	19.264.000	1.204.000
2018-2025	2,40 - 4,33	Nichts tun	-	0	
Summe		-		114.350.337	

Tabelle A2-30: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative E14n (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.361.667	295.208
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	16.670	1.190
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den neuen Material	-	81.872.000	602.000
2007-2008	3,19 – 3,38	Nichts tun	-	0	
2009	3,59	Oberflächenbehandlung	E4	8.428.000	1.204.000
2010-2017	3,78 – 4,88	Nichts tun	-	0	
2018	5,09	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 5	19.264.000	1.204.000
2019-2025	2,35 – 3,46	Nichts tun	-	0	
Summe		-		111.942.337	

A2.2.2. Zusammenfassung der Unterhaltungs-, Erhaltungs- und Ausbaumaßnahmen des Straßenabschnittes PK86 - Yaounde sowie die Beschreibung der verschiedenen Erhaltungsaktivitäten

Tabelle A2-31: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Basisoption (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	3.439	429
2007	4,38	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	5.272	659
2008	4,72	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	8.739	1.092
2009	5,12	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	7.278	909
2010	5,74	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	25.202	3.150
2011	6,65	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	36.728	4.591
2012	7,91	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	50.627	6.328
2013	9,55	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	58.146	7.268
2014-2015	11,45-14,28	Nichts tun (IRI ≥ 10)	-	0	-
2016-2025	16	Nichts tun (IRI ≥ 10)	-	0	-
Summe		-		195.431	-

Tabelle A2- 32: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative A7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	8.281.000	1.183000
2007 - 2012	4,31 – 5,27	Nichts tun	-	0	
2013	5,56	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1.203	85
		Oberflächenbehandlung		8.281.000	1.183000
2014 - 2018	5,73 – 6,74	Nichts tun	-	0	
2019	7,10	-Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1525	108
		Oberflächenbehandlung	E4	8.281.000	1.183000
2020 - 2023	6,93 – 7,79	Nichts tun	-	0	
2024	8,14	Erneuerung des gesamten Befestigungspaketes	IRI ≥ 8	130.130.000	1.183000
2025	2,30	Nichts tun		0	
Summe				154.975.941	

Tabelle A2- 33: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative B7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006 - 2008	4,12 – 4,72	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	43.627	2.180
2009	5,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	883	110
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	424	30
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 5	18.928.000	1.183.000
2010 - 2017	2,41 – 4,52	Nichts tun	-	0	
2018	5,02	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.182	147
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		933	66
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 5	18.928.000	1.183.000
2019 - 2025	2,42 – 4,46	Nichts tun	-	0	
Summe		-		37.903.049	

Tabelle A2-34: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative C7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	9.464.000	1.183.000
2007 - 2011	4,31 - 5,04	Nichts tun	-	0	
2012	5,27	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	1.001	71
		Erneuerung der Deckschicht von 50mm	IRI > 5	18.928.000	1.183.000
2013 - 2020	2,44 - 4,46	Nichts tun	-	0	0
2021	4,82	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		1.083	77
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≈ 5	18.928.000	1.183.000
2022 - 2025	2,35 - 3,29	Nichts tun	-	0	
Summe		-		46.139.297	-

Tabelle A2-35: Zusammenfassung der Unterhaltungsmaßnahmen der Alternative D7 (7m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006 - 2009	4,12 – 5,12	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	61.822	3.089
2010	5,74	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2509	313
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	2.509	313
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≈ 6	18.928.000	1.183.000
2011 - 2018	2,64 – 4,86	Nichts tun	-	0	
2019	5,37	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	30.522	1.526
2020	6,04	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.391	298
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)		1.128	80
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI ≥ 6	18.928.000	1.183.000
2021 - 2025	2,76 – 4,12	Nichts tun	-	0	
Summe		-		37.954.883	

Tabelle A2-36: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative A10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreifkriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	8.281.000	1.183.000
2007	4,31	Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien (50%)	-	35.490.000	507.000
2008	4,31	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	24.621	1.758
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien (50%)	-	35.490.000	507.000
2009-2015	3,75 – 4,81	Nichts tun	-	0	
2016	5,09	Oberflächenbehandlung	E4	11.830.000	1.690.000
2017-2021	5,35 – 6,29	Nichts tun	-	0	
2022	6,62	Oberflächenbehandlung	E4	11.830.000	1.690.000
2023-2025	6,50 – 7,02	Nichts tun	-		
Summe		-		102.945.834	

Tabelle A2-37: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative B10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8.599	429
2007	4,38	Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien (50%)		35.490.000	507.000
2008	4,38	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	7.970.105	996.263
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	45.070	3.219
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien (50%)	-	35.490.000	507.000
2009-2011	3,86- 4,47	Nichts tun	-	0	
2012	4,94	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.998	2.497
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	27.040.000	1.690.000
2013-2021	2,49 – 4,74	Nichts tun	-	0	
2022	5,16	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.039	129
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	27.040.000	1.690.000
2023-2025	2,46– 3,06	Nichts tun	-		
Summe		-		133.086.811	

Tabelle A2-38: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative C10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	-	8.281.000	1.183.000
2007	4,31	Verbreiterung um 3 m mit den alten Material (50%)		35.490.000	507.000
2008	4,31	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	24.621	1.758
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Material (50%)	-	35.490.000	507.000
2009-2015	3,75– 4,81	Nichts tun	-	0	
2016	5,09	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \geq 5	27.040.000	1.690.000
2017-2024	2,40 - 4,47	Nichts tun	-	0	
2025	4,85	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	27.040.000	1.690.000
Summe		-		133.365.834	

Tabelle A2-39: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative D10 (10m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8.599	429
2007	4,38	Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien (50%)		35.490.000	507.000
2008	4,38	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	7.970.105	996.263
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	45.070	3.219
		Verbreiterung um 3 m mit den alten Materialien (50%)		35.490.000	507.000
2009-2011	3,86.- 4,47	Nichts tun	-	0	
2012	4,94	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	37.476	1.873
2013	5,61	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	3.810	476
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 6	27.040.000	1.690.000
2014-2023	2,61 – 5,54	Nichts tun	-	0	
2024	6,14	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	2.469	308
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 6	27.040.000	1.690.000
2025	2,80	Nichts tun	-		
Summe		-		133.127.529	

Tabelle A2-40: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative A14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	E4	8.281.000	1.183.000
2007	4,31	Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2008	4,31	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	24.621	1.758
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2009-2015	3,26 – 4,15	Nichts tun	-	0	
2016	4,37	Oberflächenbehandlung	E4	16.562.000	2.366.000
2017-2023	4,58 – 5,82	Nichts tun	-	0	
2024	6,14	Oberflächenbehandlung	E4	16.562.000	2.366.000
2025	6,16	Nichts tun	-		
Summe		-		207.049.834	

Tabelle A2-41: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative B14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8.599	429
2007	4,38	Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2008	4,38	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	7.970.105	996.263
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	45.070	3.219
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2009-2013	3,34.- 4,56	Nichts tun	-	0	
2014	4,98	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.657	207
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI \approx 5	37.856.000	2.366.000
2015-2023	2,37 – 4,65	Nichts tun	-	0	
2024	5,06	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	1.455	181
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	37.856.000	2.366.000
2025	2,42	Nichts tun	-		
Summe		-		249.358.886	

Tabelle A2-42: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative C14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	20	2
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	193	13
		Oberflächenbehandlung	-	8.281.000	1.183.000
2007	4,31	Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2008	4,31	Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	24.621	1.758
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2009-2015	3,26– 4,15	Nichts tun	-	0	
2016	4,37	Oberflächenbehandlung	E4	16.562.000	2.366.000
2017-2021	4,58 – 5,34	Nichts tun	-	0	
2022	5,56	Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 5	37.856.000	2.366.000
2023-2025	2,54 – 3,08	Nichts tun	-	0	
Summe		-		228.343.834	

Tabelle A2-43: Zusammenfassung der Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen der Alternative D14 (14m)

Jahr	IRI	Maßnahme	Eingreif- kriterien	Kosten [US \$]	Fläche [m²]
2006	4,12	Verfüllen von Schlaglöchern	E0	8.599	429
2007	4,38	Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2008	4,38	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	7.970.105	996.263
		Vorbereitende Arbeiten (Beseitigung von Kantenabbrüchen)	-	45.070	3.219
		Streifenhinzufügung (2 Streifen, 7m) mit den alten Material (50%)	-	82.810.000	1.183.000
2009-2014	3,34.- 4,98	Nichts tun	-	0	
2015	5,57	Verfüllung von Schlaglöchern	E0	55.350	2.767
2016	6,48	Vorbereitende Arbeiten (Flicken)	-	6.198	774
		Erneuerung der Deckschicht von 50 mm	IRI > 6	37.856.000	2.366.000
2017-2025	2,92 – 5,43	Nichts tun	-	0	
Summe		-		211.561.322	

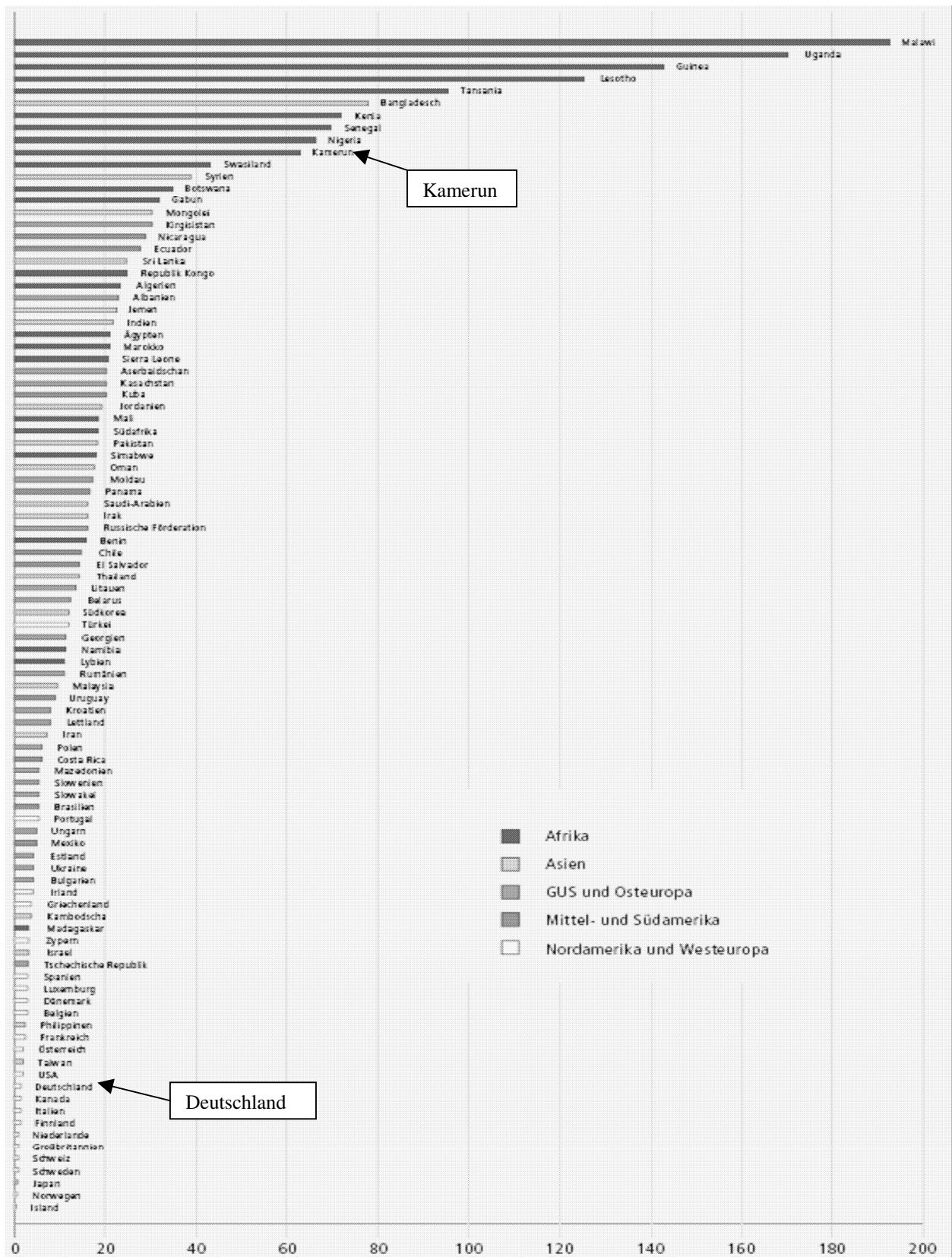
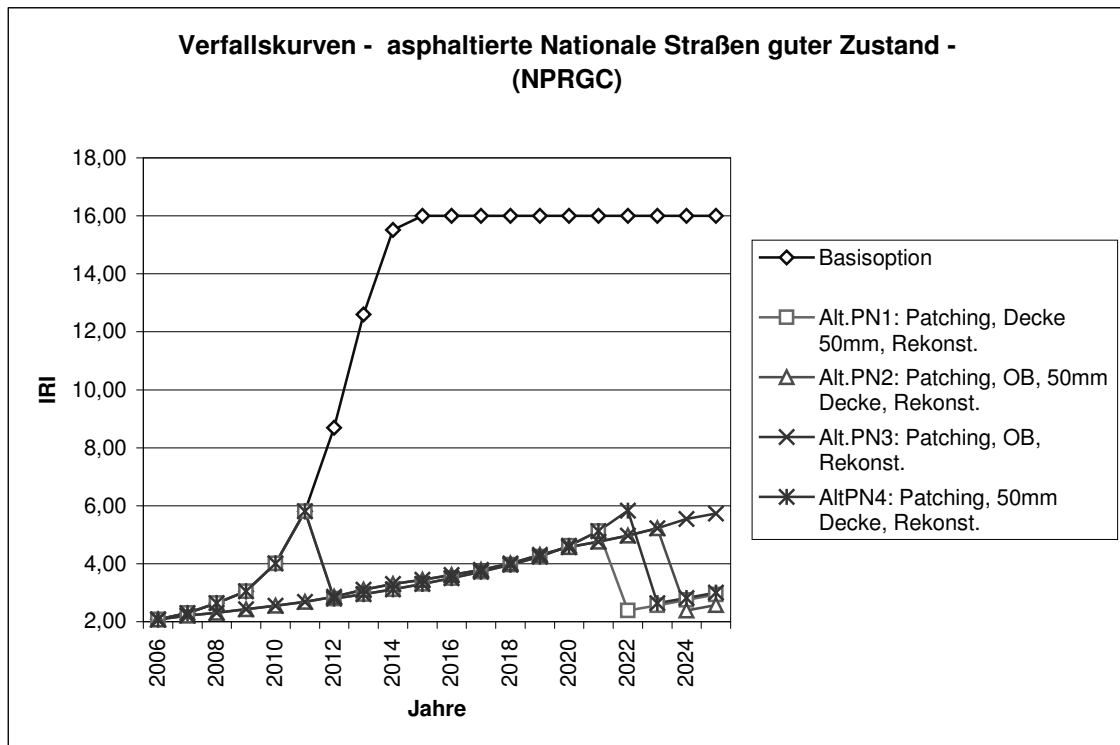


Abbildung A2-1: Tödliche Verkehrsunfälle pro 10.000 Fahrzeuge in 1999 [71]

Anlage A3.0: Verfallskurven der verschiedenen Erhaltungsmaßnahmen sowie Beschreibung der Erhaltungsstrategien

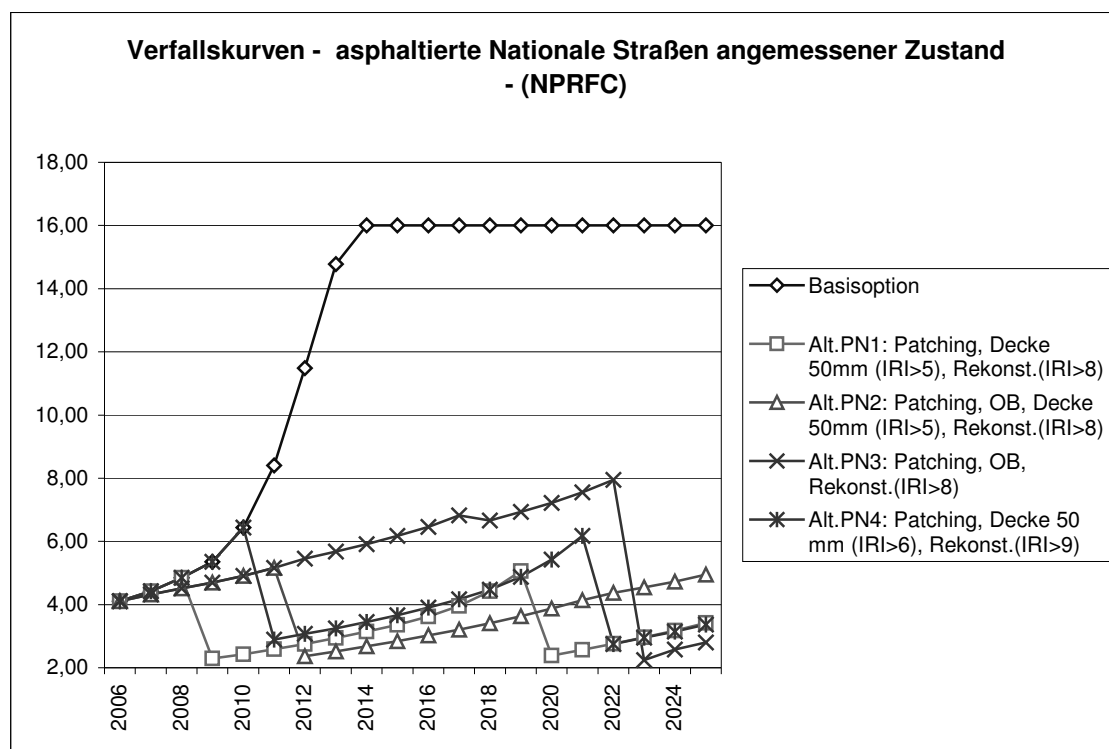
Die verschiedenen Kurven der Entwicklung der Längsunebenheit je Unterhaltungsstrategie aller Straßenabschnitte sowie die Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten sind in der folgenden Abbildungen und folgenden Tabellen dargestellt.



AbbildungA3.0-1: Verfallskurven: Asphaltierte Nationale Straßen guter Zustand (NPRGC)

TabelleA3.0-1: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtbaukosten der verschiedenen Alternativen: NPRGC

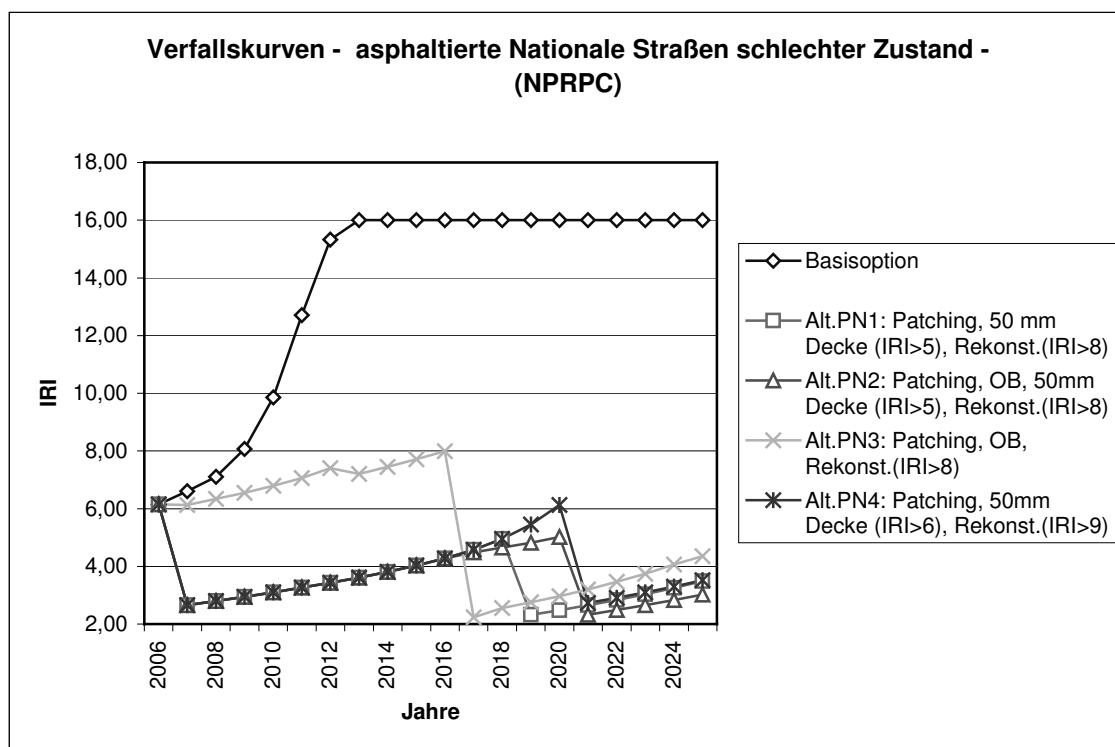
Jahr	Basisoption IRI: Maßnahme	Alternative PN1 IRI: Maßnahme	Alternative PN2 IRI: Maßnahme	Alternative PN3 IRI: Maßnahme	Alternative PN4 IRI: Maßnahme
2006	2,08: A0	2,08: A0	2,08: A2	2,08: A2	2,08: A0
2007	2,30: A1	2,30: A1	2,21: A0	2,21: A0	2,30: A1
2008	2,64: A1	2,64: A1	2,31: A0	2,31: A0	2,64: A1
2009	3,05: A1	3,05: A1	2,43: A0	2,43: A0	3,05: A1
2010	4,01: A1	4,01: A1	2,55: A0	2,55: A0	4,01: A1
2011	5,81: A1	5,81: A3	2,69: A0	2,69: A0	5,81: A3
2012	8,69: A1	2,79: A0	2,86: A0	2,86: A0	2,79: A0
2013	12,60: A0	2,95: A0	3,10: A2	3,10: A2	2,95: A0
2014 - 2017	15,52 - 16,00: A0	3,12 - 3,72: A0	3,30 - 3,79: A0	3,30 - 3,79: A0	3,12 - 3,72: A0
2018	16,00: A0	3,96: A0	4,01: A2	4,01: A2	3,96: A0
2019	16,00: A0	4,24: A0	4,31: A0	4,31: A0	4,24: A0
2020	16,00: A0	4,62: A1	4,57: A0	4,57: A0	4,62: A1
2021	16,00: A0	5,13: A3	4,76: A0	4,76: A0	5,13: A1
2022	16,00: A0	2,39: A0	4,97: A0	4,97: A0	5,83: A3
2023	16,00: A0	2,56: A0	5,22: A3	5,22: A0	2,64: A0
2024	16,00: A0	2,75: A0	2,39: A0	5,54: A2	2,82: A0
2025	16,00: A0	2,94: A0	2,57: A0	5,73: A0	3,01: A0
Gesamtkosten [US \$]	72.111	7.789.908	8.731.358	6.498.555	7.801.992



AbbildungA3.0-2: Asphaltierte Nationale Straßen angemessener Zustand (NPRFC)

TabelleA3.0-2: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: NPRFC

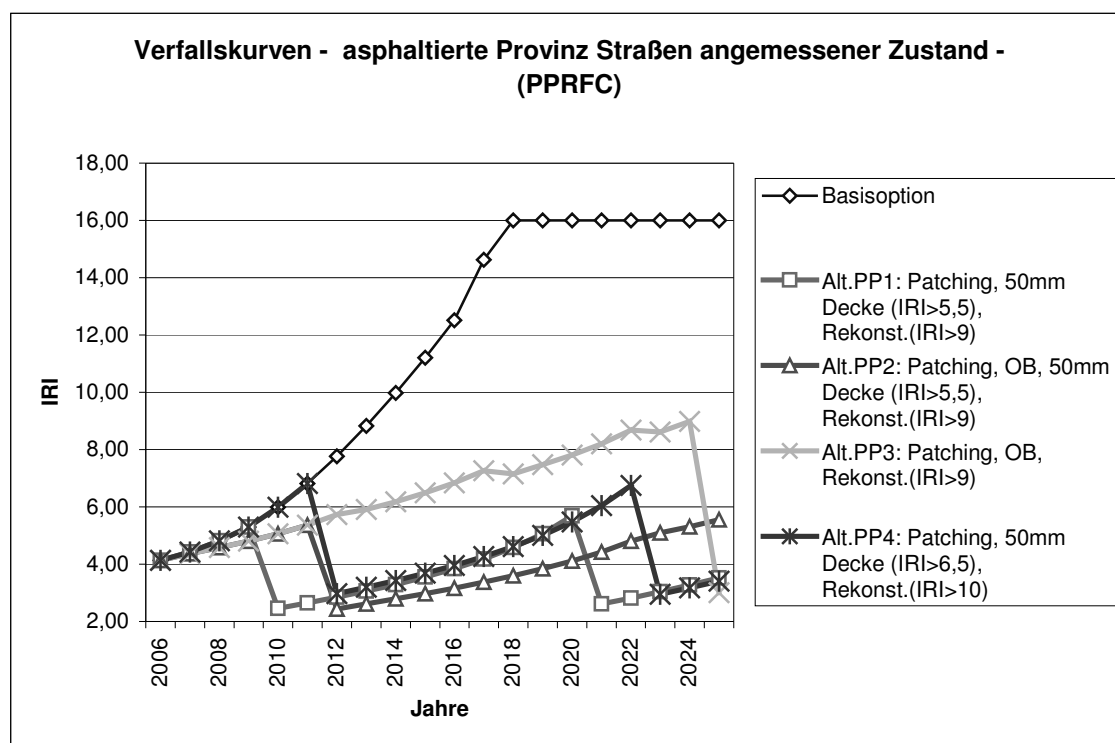
Jahr	Basisoption	Alternative PN1	Alternative PN2	Alternative PN3	Alternative PN4
2006	4,11: A0	4,11: A0	4,11: A2	4,11: A2	4,11: A0
2007	4,42: A1	4,42: A1	4,32: A0	4,32: A0	4,42: A1
2008	4,85: A1	4,85: A3	4,51: A0	4,51: A0	4,85: A1
2009	5,35: A1	2,29: A0	4,70: A0	4,70: A0	5,35: A1
2010	6,44: A1	2,43: A0	4,91: A0	4,91: A0	6,44: A3
2011	8,40: A1	2,59: A0	5,16: A3	5,16: A0	2,89: A0
2012	11,48: A0	2,75: A0	2,36: A0	5,46: A3	3,07: A0
2013 - 2016	14,78 - 16,00: A0	2,94 - 3,62: A0	2,52 - 3,02: A0	5,68 - 6,46: A0	3,25 - 3,90: A0
2017	16,00: A0	3,96: A0	3,21: A0	6,82: A2	4,17: A0
2018	16,00: A0	4,42: A1	3,41: A0	6,66: A0	4,47: A0
2019	16,00: A0	5,06: A3	3,63: A0	6,93: A0	4,88: A1
2020	16,00: A0	2,39: A0	3,87: A0	7,22: A0	5,42: A1
2021	16,00: A0	2,57: A0	4,14: A2	7,55: A0	6,17: A3
2022	16,00: A0	2,76: A0	4,37: A0	7,95: A4	2,75: A0
2023	16,00: A0	2,96: A0	4,54: A0	2,24: A0	2,95: A0
2024	16,00: A0	3,18: A0	4,73: A0	2,58: A0	3,15: A0
2025	16,00: A0	3,42: A0	4,95: A3	2,80: A0	3,37: A0
Gesamtkosten [US \$]	1.876.067	322.799.291	457.382.096	1.312.851.390	323.709.313



AbbildungA3.0-3: Verfallskurven: Asphaltierte Nationale Straßen schlechter Zustand (NPRPC)

TabelleA3.0-3: Beschreibung der Verfallskurven und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen:
NPRPC

Jahr	Basisoption	Alternative PN1	Alternative PN2	Alternative PN3	Alternative PN4
2006	6,15: A0	6,15: A3	6,15: A3	6,15: A2	6,15: A3
2007	6,60: A1	2,66: A0	2,66: A0	6,13: A0	2,66: A0
2008	7,10: A1	2,80: A0	2,80: A0	6,34: A0	2,80: A0
2009 - 2010	8,07 - 9,86: A1	2,94 - 3,10: A0	2,94 - 3,10: A0	6,55 - 6,79: A0	2,94 - 3,10: A0
2011	12,71: A0	3,26: A0	3,26: A0	7,06: A0	3,26: A0
2012	15,33: A0	3,43: A0	3,43: A0	7,40: A2	3,43: A0
2013 - 2014	16,00: A0	3,61 - 3,81: A0	3,61 - 3,81: A0	7,20 - 7,45: A0	3,61 - 3,81: A0
2015	16,00: A0	4,03: A0	4,03: A0	7,71: A0	4,03: A0
2016	16,00: A0	4,28: A0	4,28: A2	7,99: A4	4,28: A0
2017	16,00: A0	4,57: A1	4,49: A0	2,23: A0	4,54: A1
2018	16,00: A0	4,95: A3	4,65: A0	2,56: A0	4,95: A1
2019	16,00: A0	2,32: A0	4,82: A0	2,76: A0	5,45: A1
2020	16,00: A0	2,48: A0	5,02: A3	2,97: A0	6,13: A3
2021 - 2023	16,00: A0	2,65 - 3,03: A0	2,32 - 2,66: A0	3,20 - 3,74: A0	2,73 - 3,10: A0
2024	16,00: A0	3,25: A0	2,83: A0	4,06: A2	3,30: A0
2025	16,00: A0	3,49: A0	3,02: A0	4,35: A0	3,52: A0
Gesamtkosten [US \$]	968.891	188.065.907	227.656.874	767.098.714	188.460.398



AbbildungA3.0-4: Verfallskurven: Asphaltierte Provinz Straßen angemessener Zustand (PPRFC)

TabelleA3.0-4: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: PPRFC

Jahr	Basisoption	Alternative PP1	Alternative PP2	Alternative PP3	Alternative PP4
2006	4,13: A0	4,13: A0	4,15: A2	4,13: A2	4,13: A0
2007	4,43: A0	4,43: A0	4,37: A0	4,37: A0	4,43: A0
2008	4,82: A1	4,82: A1	4,58: A0	4,58: A0	4,82: A1
2009	5,30: A1	5,30: A3	4,81: A0	4,81: A0	5,30: A1
2010	5,99: A1	2,46: A0	5,06: A0	5,06: A0	5,99: A1
2011	6,82: A1	2,65: A0	5,36: A3	5,36: A0	6,82: A3
2012	7,77: A1	2,85: A0	2,44: A0	5,73: A2	2,97: A0
2013- 2014	8,83 – 9,98: A1	3,06 – 3,29: A0	2,61 – 2,79: A0	5,91 – 6,18: A0	3,20 – 3,43: A0
2015 - 2016	11,21 – 12,51: A0	3,55 – 3,84: A0	2,97 – 3,16: A0	6,49 – 6,84: A0	3,69 – 3,96: A0
2017	14,63: A0	4,18: A0	3,37: A0	7,26: A2	4,27: A0
2018	16,00: A0	4,58: A0	3,60: A0	7,15: A0	4,61: A0
2019	16,00: A0	5,06: A1	3,84: A0	7,47: A0	5,01: A0
2020	16,00: A0	5,69: A3	4,11: A0	7,81: A0	5,48: A1
2021	16,00: A0	2,61: A0	4,42: A0	8,20: A0	6,05: A1
2022	16,00: A0	2,82: A0	4,80: A2	8,68: A2	6,75: A3
2023	16,00: A0	3,04: A0	5,09: A0	8,61: A0	2,95: A0
2024	16,00: A0	3,27: A0	5,31: A0	8,98: A4	3,17: A0
2025	16,00: A0	3,52: A0	5,55: A0	3,01: A0	3,41: A0
Gesamtkosten [US \$]	168.870	28.773.270	26.462.097	123.229.221	28.819.472

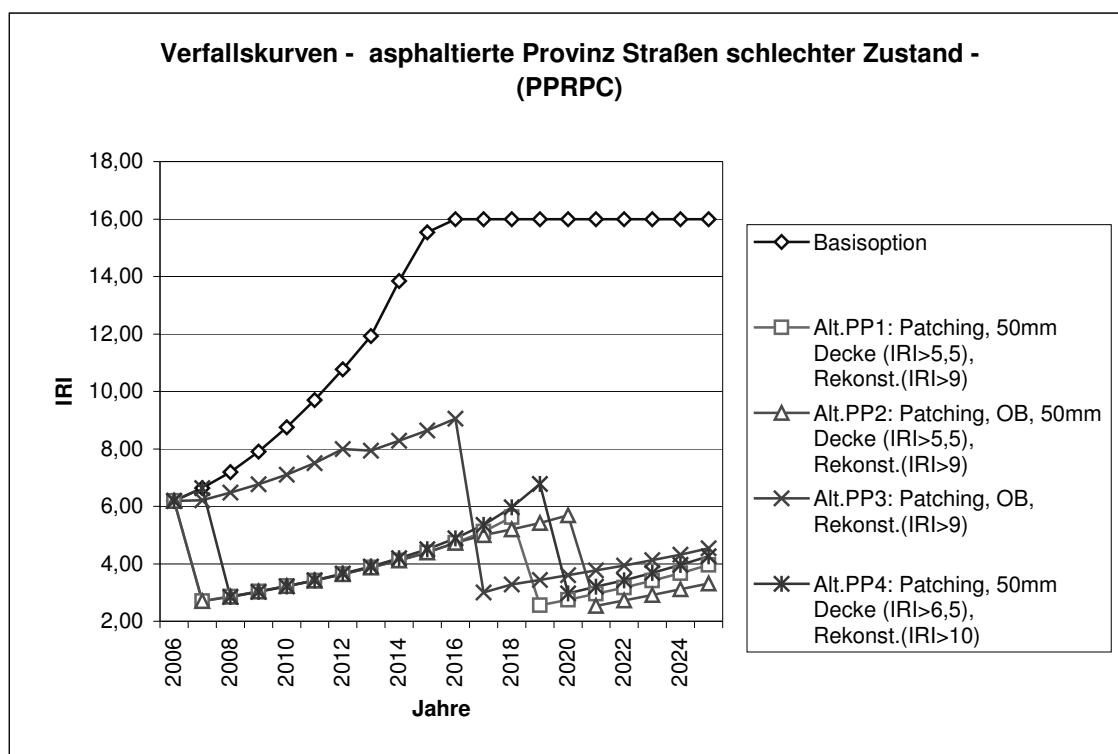
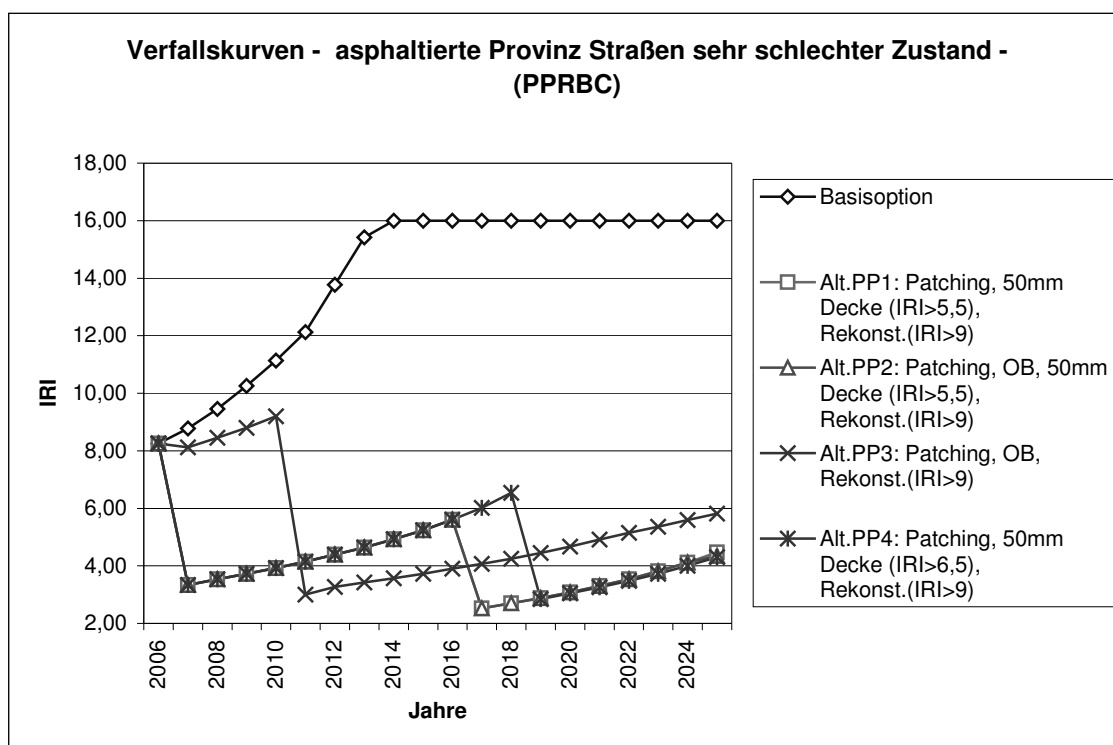


Abbildung A3.0-5: Verfallskurven: asphaltierte Provinz Straßen schlechter Zustand (PPRPC)

Tabelle 5: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: PPRPC

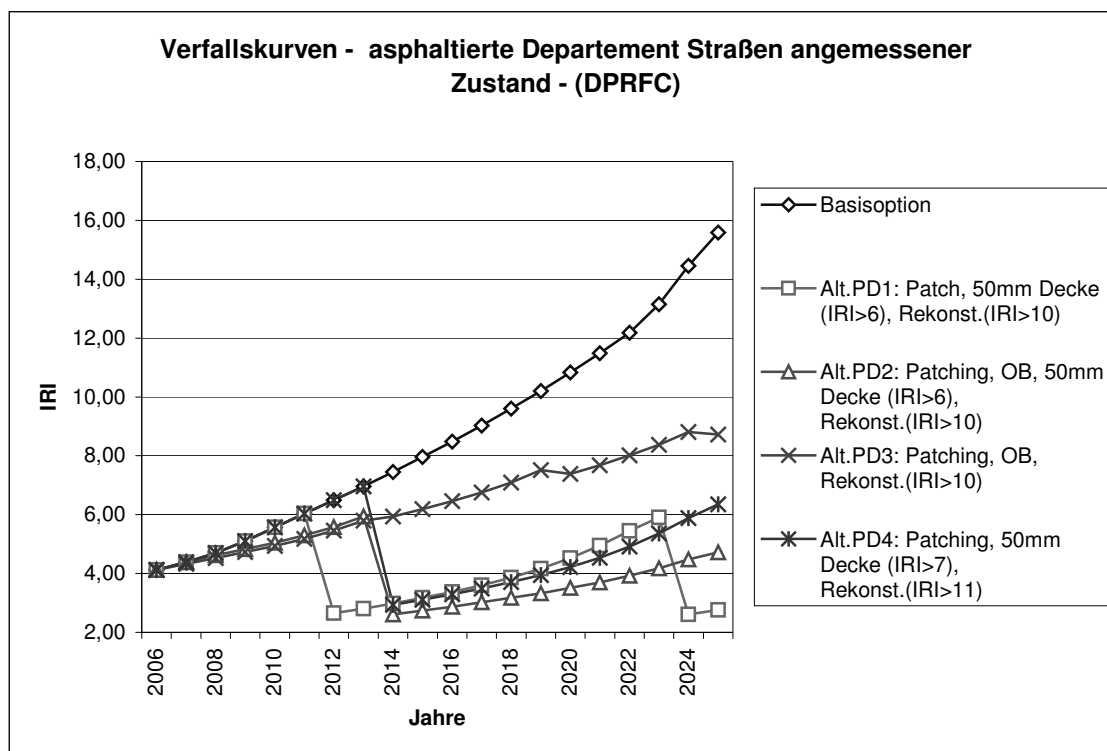
Jahr	Basisoption	Alternative PP1	Alternative PP2	Alternative PP3	Alternative PP4
2006	6,19: A0	6,19: A3	6,19: A3	6,19: A2	6,19: A1
2007	6,63: A1	2,70: A0	2,70: A0	6,21: A0	6,63: A3
2008	7,19: A1	2,86: A0	2,86: A0	6,48: A0	2,85: A0
2009	7,91: A1	3,04: A0	3,04: A0	6,77: A0	3,03: A0
2010	8,75: A1	3,23: A0	3,23: A0	7,10: A0	3,22: A0
2011	9,70: A1	3,42: A0	3,42: A0	7,50: A2	3,43: A1
2012	10,77: A1	3,64: A0	3,64: A0	8,00: A0	3,66: A0
2013- 2014	11,93 – 13,84: A0	3,87 – 4,12: A0	3,87 – 4,12: A0	7,94 – 8,28: A0	3,91 – 4,19: A0
2015	15,54: A0	4,40: A0	4,40: A0	8,64: A0	4,51: A0
2016	16,00: A0	4,73: A1	4,73: A2	9,05: A4	4,89: A0
2017	16,00: A0	5,12: A1	5,00: A0	3,00: A0	5,35: A1
2018	16,00: A0	5,62: A3	5,20: A0	3,28: A0	5,97: A1
2019	16,00: A0	2,56: A0	5,42: A0	3,44: A0	6,78: A3
2020	16,00: A0	2,75: A0	5,69: A3	3,60: A0	2,97: A0
2021 – 2024	16,00: A0	2,96 – 3,67: A0	2,54 – 3,11: A0	3,77 – 4,32: A0	3,20 – 3,96: A0
2025	16,00: A0	3,96: A0	3,32: A0	4,54: A0	4,26: A0
Gesamtkosten [US \$]	125.374	37.254.809	45.082.459	144.062.424	37.300.088



AbbildungA3.0-6: Verfallskurven: Asphaltierte Provinz Straßen sehr schlechter Zustand (PPRBC)

TabelleA3.0-6: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: PPRBC

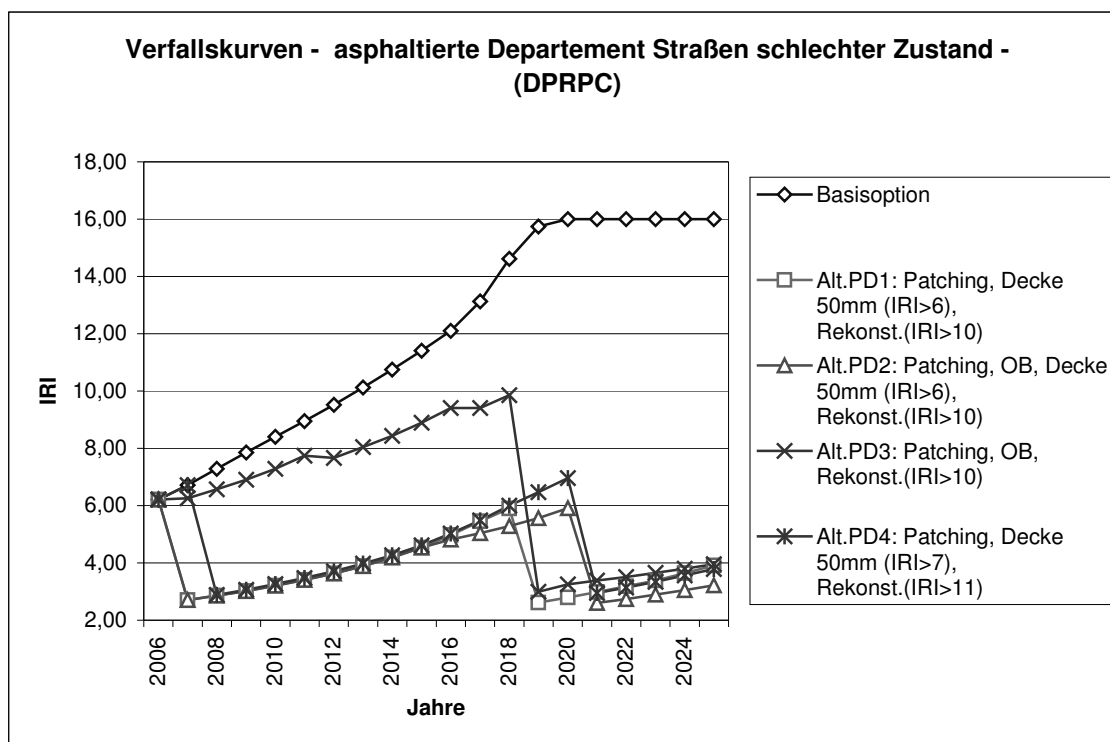
Jahr	Basisoption	Alternative PP1	Alternative PP2	Alternative PP3	Alternative PP4
2006	8,25: A1	8,25: A3	8,25: A3	8,25: A2	8,25: A3
2007	8,78: A1	3,34: A0	3,34: A0	8,12: A0	3,34: A0
2008	9,45: A0	3,53: A0	3,53: A0	8,45: A0	3,53: A0
2009	10,26: A1	3,72: A0	3,72: A0	8,80: A0	3,72: A0
2010	11,14: A1	3,93: A0	3,93: A0	9,20: A4	3,93: A0
2011 - 2014	12,13 - 16,00: A0	4,15 - 4,93: A0	4,15 - 4,93: A0	3,00 - 3,57: A0	4,15 - 4,93: A0
2015	16,00: A0	5,24: A0	5,24: A0	3,73: A0	5,24: A0
2016	16,00: A0	5,60: A3	5,60: A3	3,90: A0	5,60: A1
2017	16,00: A0	2,52: A0	2,52: A0	4,07: A0	6,02: A1
2018	16,00: A0	2,70: A0	2,70: A0	4,25: A0	6,54: A3
2019	16,00: A0	2,88: A0	2,88: A0	4,45: A0	2,85: A0
2020	16,00: A0	3,08: A0	3,08: A0	4,67: A2	3,05: A0
2021 - 2022	16,00: A0	3,30 - 3,54: A0	3,30 - 3,54: A0	4,91 - 5,15: A0	3,26 - 3,48: A0
2023	16,00: A0	3,81: A0	3,81: A2	5,36: A0	3,73: A0
2024 - 2025	16,00: A0	4,11 - 4,47: A1	4,11 - 4,35: A0	5,59 - 5,82: A0	4,00 - 4,30: A0
Gesamtkosten [US \$]	205.605	143.150.486	173.242.156	553.608.184	143.154.309



AbbildungA3.0-7: Verfallskurven: Asphaltierte Departement Straßen angemessener Zustand (DPRFC)

TabelleA3.0-7: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: DPRFC

Jahr	Basisoption	Alternative PD1	Alternative PD2	Alternative PD3	Alternative PD4
2006	4,12: A0	4,12: A0	4,12: A0	4,12: A2	4,12: A0
2007	4,38: A0	4,38: A0	4,38: A2	4,33: A0	4,38: A0
2008 - 2009	4,70 - 5,10: A0	4,70 - 5,10: A0	4,62 - 4,83: A0	4,52 - 4,73: A0	4,70 - 5,10: A0
2010	5,57: A1	5,57: A1	5,05: A0	4,94: A0	5,57: A1
2011	6,03: A1	6,03: A3	5,30: A0	5,18: A0	6,03: A1
2012	6,49: A1	2,65: A0	5,58: A0	5,46: A0	6,49: A1
2013	6,96: A1	2,81: A0	5,94: A3	5,80: A2	6,96: A3
2014	7,45: A1	2,98: A0	2,61: A0	5,94: A0	2,93: A0
2015	7,96: A1	3,17: A0	2,74: A0	6,19: A0	3,11: A0
2016 - 2018	8,48 - 9,60: A1	3,37 - 3,86: A0	2,87 - 3,17: A0	6,46 - 7,09: A0	3,29 - 3,71: A0
2019	10,20: A1	4,16: A0	3,33: A0	7,51: A2	3,95: A0
2020 - 2021	10,83 - 11,49: A1	4,52 - 4,95: A0	3,51 - 3,70: A0	7,38 - 7,68: A0	4,22 - 4,53: A0
2022	12,18: A0	5,45: A1	3,93: A0	8,01: A0	4,91: A0
2023	13,15: A0	5,90: A3	4,18: A0	8,37: A0	5,36: A0
2024	14,45: A0	2,61: A0	4,48: A2	8,81: A2	5,88: A1
2025	15,59: A0	2,76: A0	4,72: A0	8,72: A0	6,35: A0
Gesamtkosten [US \$]	109.347	16.680.153	15.332.049	14.017.281	8.387.323



AbbildungA3.0-8: Verfallskurven: asphaltierte Departement Straßen schlechter Zustand (DPRPC)

TabelleA3.0-8: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: DPRPC

Jahr	Basisoption	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
2006	6,21: A0	6,21: A3	6,21: A3	6,21: A2	6,21: A0
2007	6,71: A1	2,70: A2	2,70: A0	6,26: A0	6,71: A3
2008	7,29: A1	2,86: A0	2,86: A0	6,57: A0	2,88: A0
2009	7,85: A1	3,02: A0	3,02: A0	6,90: A0	3,06: A0
2010	8,40: A1	3,21: A0	3,21: A0	7,29: A0	3,26: A0
2011	8,95: A1	3,41: A0	3,41: A0	7,74: A2	3,48: A0
2012	9,52: A1	3,63: A0	3,63: A0	7,66: A0	3,71: A0
2013 - 2014	10,12 - 10,75: A1	3,89 - 4,19: A0	3,89 - 4,19: A0	8,04 - 8,44: A0	3,98 - 4,27: A0
2015	11,41: A1	4,54: A0	4,54: A2	8,89: A0	4,62: A0
2016	12,10: A0	4,97: A0	4,82: A0	9,41: A2	5,03: A0
2017	13,13: A0	5,45: A1	5,04: A0	9,41: A0	5,49: A0
2018	14,62: A0	5,90: A3	5,28: A0	9,85: A4	6,00: A1
2019	15,74: A0	2,61: A0	5,56: A0	2,99: A0	6,47: A1
2020	16,00: A0	2,79: A0	5,91: A3	3,25: A0	6,96: A3
2021	16,00: A0	2,98: A0	2,60: A0	3,38: A0	2,95: A0
2022	16,00: A0	3,18: A0	2,74: A0	3,51: A0	3,14: A0
2023 - 2024	16,00: A0	3,39 - 3,64: A0	2,89 - 3,05: A0	3,65 - 3,80: A0	3,34 - 3,56: A0
2025	16,00: A0	3,91: A0	3,22: A0	3,95: A0	3,79: A0
Gesamtkosten [US \$]	15.051	2.517.266	3.040.225	10.233.023	2.521.227

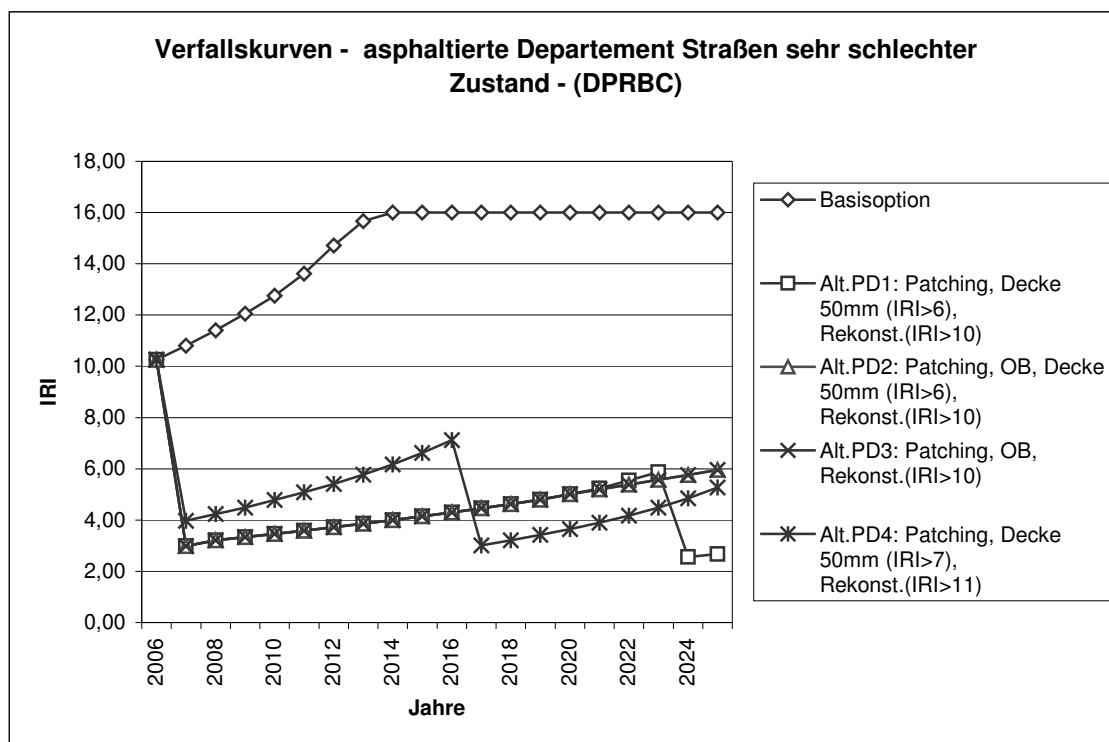
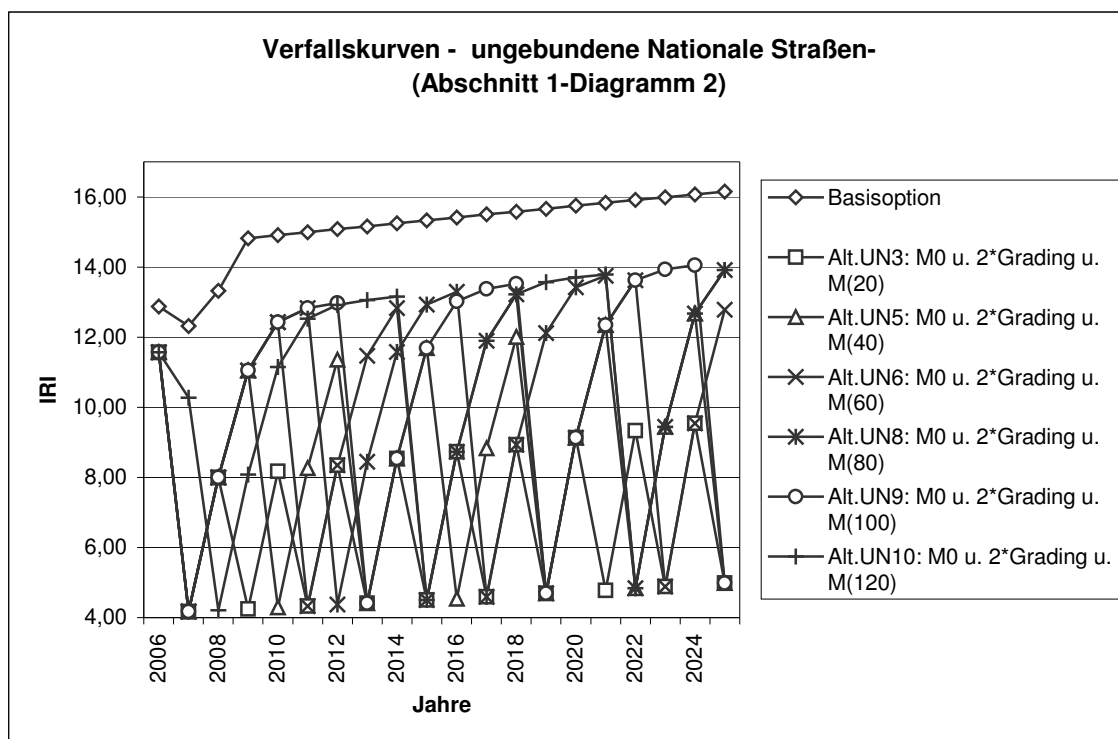


Abbildung A3.0-9: Verfallskurven: Asphaltierte Departement Straßen sehr schlechter Zustand (DPRBC)

Tabelle A3.0-9: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen: DPRBC

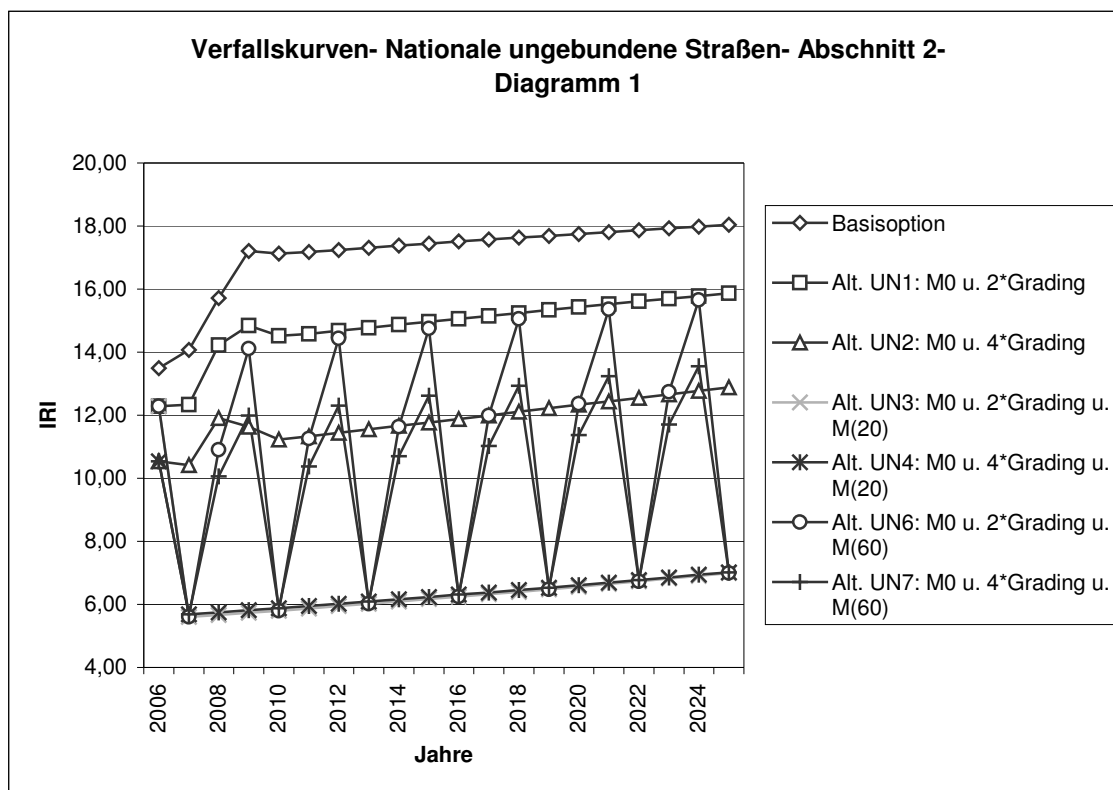
Jahr	Basisoption	Alternative PD1	Alternative PD2	Alternative PD3	Alternative PD4
2006	10,26: A1	10,26 : A4	10,26: A4	10,26: A4	10,26: A3
2007	10,80 : A1	2,98 : A0	2,98: A0	2,98: A0	3,97: A0
2008 - 2009	11,41 – 12,06: A0	3,21 – 3,33: A0	3,21 – 3,33: A0	3,21 – 3,33: A0	4,23 – 4,49: A0
2010 - 2015	12,75 – 16,00: A0	3,46 – 4,15: A0	3,46 – 4,15: A0	3,46 – 4,15: A0	4,78 – 6,62: A0
2016	16,00: A0	4,30: A0	4,30: A0	4,80: A0	7,12: A3
2017	16,00: A0	4,46 : A0	4,46: A0	4,46: A0	3,01: A3
2018 - 2019	16,00: A0	4,62 – 4,80: A0	4,62 – 4,80: A0	4,62 – 4,80: A0	3,21 – 3,42: A0
2020	16,00: A0	5,01 A0	5,01: A2	5,01: A2	3,65: A0
2021	16,00: A0	5,24: A0	5,20: A0	5,20: A0	3,90: A0
2022	16,00: A0	5,54: A1	5,38: A0	5,38: A0	4,17: A0
2023	16,00: A0	5,87: A3	5,57: A0	5,57: A0	4,49: A0
2024	16,00: A0	2,56: A0	5,76: A0	5,76: A0	4,85: A0
2025	16,00: A0	2,67: A0	5,96: A0	5,96: A0	5,27: A0
Gesamtkosten [US \$]	81.097	261.943.903	242.694.929	242.694.929	66.356.444



AbbildungA3.0-10: Verfallskurven: Nationale ungebundene Straßen (NUR-Abschnitt1- Diagramm 2)

Tabelle A3.0-10: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt1- Diagramm 2)

Jahr	Basisoption	Alt. UN3	Alt.UN5	Alt. UN6	Alt. UN8	Alt.UN9	Alt.UN10
2006	12,87: M0+M1	11,57: M2+M(20)	11,57: M2+M(40)	11,57: M2+M(60)	11,57: M2+M(80)	11,57: M2+M(100)	11,57: M0+M2
2007	12,32: M0+M1	4,17: M0+M2	4,17: M0+M2	4,17: M0+M2	4,17: M0+M2	4,17::M0+M2	10,27: M2+M(120)
2008	13,32: M0+M1	8,00: M2+M(20)	8,00: M0+M2	8,00: M0+M2	8,00: M0+M2	8,00: M0+M2	4,21: M0+M2
2009	14,82: M0+M1	4,25: M0+M2	11,05: M0+M(40)	11,05: M0+M2	11,05: M0+M2	11,05: M0+M2	8,08: M0+M2
2010	14,91: M0+M1	8,17: M2+M(20)	4,29: M0+M2	12,43: M2+M(60)	12,43: M0+M2	12,43: M0+M2	11,15: M0+M2
2011	14,99: M0+M1	4,33: M0+M2	8,26: M0+M2	4,33: M0+M2	12,83: M2+M(80)	12,83: M0+M2	12,53: M0+M2
2012	15,08: M0+M1	8,35: M2+M(20)	11,36: M2+M(40)	8,35: M0+M2	4,37: M0+M2	12,97: M2+M(100)	12,92: M0+M2
2013	15,16: M0+M1	4,41: M0+M2	4,41: M0+M2	11,47: M0+M2	8,45: M0+M2	4,41: M0+M2	13,06: M0+M2
2014	15,25: M0+M1	8,54: M2+M(20)	8,54: M0+M2	12,83: M2+M(60)	11,58: M0+M2	8,54: M2+M0	13,16: M2+M(120)
2015	15,33: M0+M1	4,50: M0+M2	11,69: M2+M(40)	4,50: M0+M2	12,93: M0+M2	11,69: M0+M2	4,50: M0+M2
2016	15,41: M0+M1	8,73: M2+M(20)	4,54: M0+M2	8,73: M0+M2	13,29: M2+M(80)	13,02: M0+M2	8,73: M0+M2
2017	15,50: M0+M1	4,59: M0+M2	8,83: M0+M2	11,90: M0+M2	4,59: M0+M2	13,38 M0+M2:	11,90: M0+M2
2018	15,58: M0+M1	8,93: M2+M(20)	12,01: M2+M(40)	13,22: M2+M(60)	8,93: M0+M2	13,52: M2+M(100)	13,22: M0+M2
2019	15,66: M0+M1	4,69: M0+M2	4,69: M0+M2	4,69: M0+M2	12,12: M0+M2	4,69: M0+M2	13,57: M0+M2
2020	15,75: M0+M1	9,13: M2+M(20)	9,13: M0+M2	9,13: M0+M2	13,42: M0+M2	9,13: M0+M2	13,70: M0+M2
2021	15,83: M0+M1	4,78: M0+M2	12,34: M2+M(40)	12,34: M0+M2	13,75: M2+M(80)	12,34: M0+M2	13,79: M2+M(120)
2022	15,91: M0+M1	9,33: M2+M(20)	4,84: M0+M2	13,62: M2+M(60)	4,84: M0+M2	13,62: M0+M2	4,84: M0+M2
2023	15,99: M0+M1	4,89: M0+M2	9,44: M0+M2	4,89: M0+M2	9,44: M0+M2	13,93: M0+M2	9,44: M0+M2
2024	16,07: M0+M1	9,54: M2+M(20)	12,67: M2+M(40)	9,54: M0+M2	12,67: M0+M2	14,05: M2+M(100)	12,67: M0+M2
2025	16,15: M0+M1	4,99: M0+M2	4,99: M0+M2	12,78: M0+M2	13,91: M0+M2	4,99: M0+M2	13,91: M0+M2
Gesamtkosten [US \$]	5.851.040	178.805.007	178.805.004	166.406.485	159.290.391	180.762.201.	159.290.389
Kosten/km	2.850	87.095	87.095	81.056	77.590	88.048	77.589



AbbildungA3.0-11: Verfallskurven: ungebundene Nationale Straßen (NUR-Abschnitt2- Diagramm 1)

Tabelle A3.0-11: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt2- Diagramm 1)

Jahr	Basisoption	Alt. UN1 IRI: Maßnahme	Alt. UN2 IRI: Maßnahme	Alt. UN3 IRI: Maßnahme	Alt. UN4 IRI: Maßnahme	Alt. UN6 IRI: Maßnahme	Alt. UN7 IRI: Maßnahme
2006	13,49: M0+M1	12,28: M0+M2	10,54: M0+M4	12,28: M2+M(20)	10,54: M4+M(20)	12,28: M2+M(60)	10,54: M4+M(60))
2007	14,07: M0+M1	12,34: M0+M2	10,42: M0+M4	5,60: M2+M(20)	5,69: M4+M(20)	5,60: M0+M2	5,69: M0+M4
2008	15,72: M0+M1	14,22: M0+M2	11,91: M0+M4	5,67: M2+M(20)	5,75: M4+M(20)	10,90: M0+M2	10,06: M0+M4
2009	17,21: M0+M1	14,84: M0+M2	11,63: M0+M4:	5,74: M2+M(20)	5,82: M4+M(20)	14,11: M2+M(60)	11,99: M4+M(60)
2010	17,13: M0+M1	14,52: M0+M2	11,23: M0+M4	5,80: M2+M(20)	5,88: M4+M(20)	5,80: M0+M2	5,88: M0+M4)
2011	17,18: M0+M1	14,58: M0+M2	11,33: M0+M4	5,87: M2+M(20)	5,95: M4+M(20)	11,26: M0+M2	10,38: M0+M4
2012	17,24: M0+M1	14,68: M0+M2	11,44: M0+M4:	5,95: M2+M(20)	6,02: M4+M(20)	14,44: M2+M(60)	12,30: M4+M(60)
2013	15,16: M0+M1	14,77: M0+M2	11,55: M0+M4	6,02: M0+M2	6,09: M4+M(20)	6,02: M0+M2	6,09: M0+M4
2014	17,31: M0+M1	14,87: M0+M2	11,66: M0+M4	6,09: M2+M(20)	6,16: M4+M(20)	11,63: M2+M(60)	10,70: M0+M4
2015	17,44: M0+M1	14,96: M0+M2	11,77: M0+M4	6,17: M2+M(20)	6,23: M4+M(20)	14,75: M2+M(60)	12,62: M4+M(60)
2016	17,51: M0+M1	15,06: M0+M2	11,88: M0+M4	6,24: M2+M(20)	6,31: M4+M(20)	6,24: M0+M2	6,31: M0+M4
2017	17,57: M0+M1	15,15: M0+M2	11,99: M0+M4	6,32: M2+M(20)	6,38: M4+M(20)	11,99: M0+M2	11,03: M0+M4
2018	17,63: M0+M1	15,24: M0+M2	12,11: M0+M4	6,40: M2+M(20)	6,46: M4+M(20)	15,06: M2+M(60)	12,93: M4+M(60)
2019	17,69: M0+M1	15,34: M0+M2	12,22: M0+M4	6,48: M2+M(20)	6,53: M4+M(20)	6,48: M0+M2	6,53: M0+M4
2020	17,75: M0+M1	15,43: M0+M2	12,33: M0+M4	6,56: M2+M(20)	6,61: M4+M(20)	12,37: M0+M2	11,37: M0+M4
2021	17,81: M0+M1	15,52: M0+M2	12,44: M0+M4	6,65: M2+M(20)	6,69: M4+M(20)	15,36: M2+M(60)	13,24: M4+M(60)
2022	17,87: M0+M1	15,61: M0+M2	12,55: M0+M4	6,73: M2+M(20)	6,77: M4+M(20)	6,73: M0+M2	6,77: M0+M4
2023	17,93: M0+M1	15,70: M0+M2	12,66: M0+M4	6,82: M2+M(20)	6,85: M4+M(20)	12,74: M0+M2	11,71: M0+M4
2024	17,98: M0+M1	15,78: M0+M2	12,77: M0+M4	6,90: M2+M(20)	6,94: M4+M(20)	15,65: M2+M(60)	13,55: M4+M(60)
2025	18,04: M0+M1	15,87: M0+M2	12,88: M0+M4	6,99: M2+M(20)	7,02: M4+M(20)	6,99: M0+M2	7,02: M0+M4
Gesamtkosten [US \$]	1.550.400	3.100.800	6.201.600	56.746.634	59.825.674	57.473.289	57.959.263
Kosten/ km	2.850	5.700	11.400	104.314	109.974	105.650	106.543

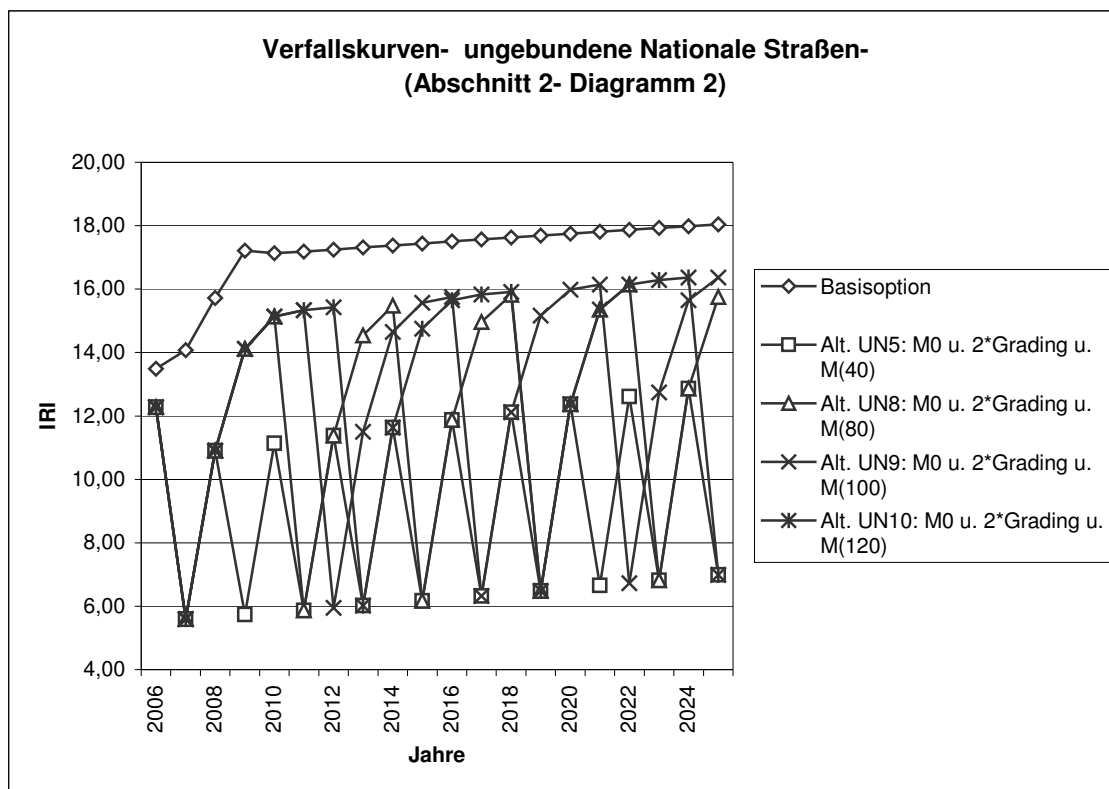
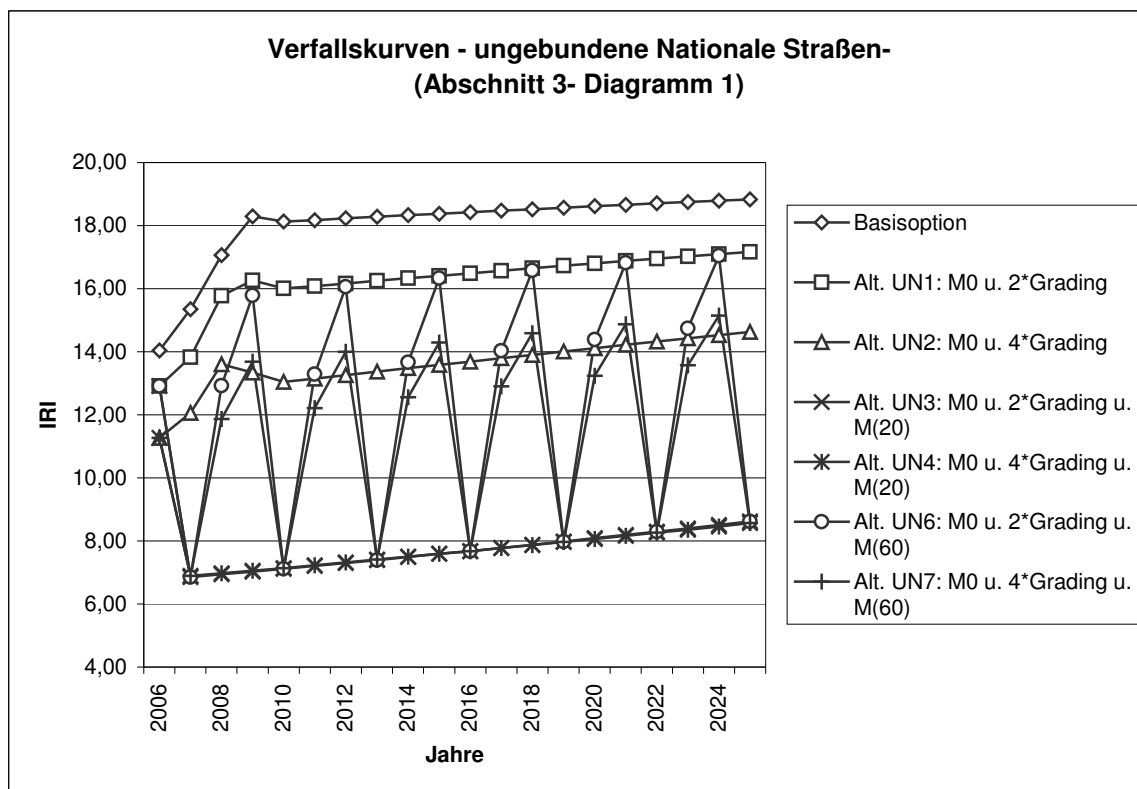


Abbildung A3.0-12: Verfallskurven: Nationale ungebundene Straßen (NUR-Abschnitt2- Diagramm 2)

Tabelle A3.0-12: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt2- Diagramm 2)

Jahr	Alt.UN5	Alt. UN8	Alt.UN9	Alt.UN10
2006	12,28: M2+M(40)	12,28: M2+M(80)	12,28: M2+M(100)	12,28: M2+M(120)
2007	5,60: M0+M2	5,60: M0+M2	5,60: M0+M2	5,60: M0+M2
2008	10,90: M2+M(40)	10,90: M0+M2	10,90: M0+M2	10,90: M0+M2
2009	5,74: M0+M2	14,11: M0+M2	14,11: M0+M2	14,11: M0+M2
2010	11,14: M2+M(40)	15,13: M2+M(80)	15,13: M0+M2	15,13: M0+M2
2011	5,87: M0+M2	5,87: M0+M2	15,34: M2+M(100)	15,34: M0+M2
2012	11,38: M2+M(40)	11,38: M0+M2	5,95: M0+M2	15,43: M2+M(120)
2013	6,02: M0+M2	14,54: M0+M2	11,50: M0+M2	6,02: M0+M2
2014	11,63: M2+M(40)	15,48: M2+M(80)	14,65: M0+M2	11,63: M0+M2
2015	6,17: M0+M2	6,17: M0+M2	15,57: M0+M2	14,75: M0+M2
2016	11,87: M2+M(40)	11,87: M0+M2	15,75: M2+M(100)	15,65: M0+M2
2017	6,32: M0+M2	14,96: M0+M2	6,32: M0+M2	15,83: M0+M2
2018	12,12: M2+M(40)	15,82: M2+M(80)	12,12: M0+M2	15,91: M2+M(120)
2019	6,48: M0+M2	6,48: M0+M2	15,16: M0+M2	6,48: M0+M2
2020	12,37: M2+M(40)	12,37: M0+M2	15,98: M0+M2	12,37: M0+M2
2021	6,65: M0+M2	15,36: M0+M2	16,14: M2+M(100)	15,36: M0+M2
2022	12,61: M2+M(40)	16,14: M2+M(80)	6,73: M0+M2	16,14: M0+M2
2023	6,82: M0+M2	6,82: M0+M2	12,74: M0+M2	16,29: M0+M2
2024	12,86: M2+M(40)	12,86: M0+M2	15,65: M0+M2	16,37: M2+M(120)
2025	6,99: M0+M2	15,75: M0+M2	16,37: M0+M2	6,99: M0+M2
Gesamtkosten [US \$]	55.917.449	51.733.671	48.896.594.	55.917.450
Kosten/km	102.790	95.099	89.884	102.790



AbbildungA3.0-13: Verfallskurven: Nationale ungebundene Straßen (NUR-Abschnitt 3- Diagramm 1)

Tabelle A3.0-13: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt 3 - Diagramm 1)

Jahr	Basisoption	Alt. UN1 IRI: Maßnahme	Alt. UN2 IRI: Maßnahme	Alt. UN3 IRI: Maßnahme	Alt. UN4 IRI: Maßnahme	Alt. UN6 IRI: Maßnahme	Alt. UN7 IRI: Maßnahme
2006	14,04: M0+M1	12,91: M0+M2	11,27: M0+M4	12,91: M2+M(20)	11,27: M4+M(20)	12,91: M2+M(60)	11,27: M4+M(60))
2007	15,35: M0+M1	13,83: M0+M2	12,06: M0+M4	6,85: M2+M(20)	6,89: M4+M(20)	6,85: M0+M2	6,89: M0+M4
2008	17,07: M0+M1	15,78: M0+M2	13,60: M0+M4	6,94: M2+M(20)	6,97: M4+M(20)	12,92: M0+M2	11,87: M0+M4
2009	18,29: M0+M1	16,26: M0+M2	13,34 M0+M4:	7,03: M2+M(20)	7,06: M4+M(20)	15,79: M2+M(60)	13,69: M4+M(60)
2010	18,13: M0+M1	16,01: M0+M2	13,05: M0+M4	7,12: M2+M(20)	7,14: M4+M(20)	7,12: M0+M2	7,14: M0+M4)
2011	18,17: M0+M1	16,08: M0+M2	13,15: M0+M4	7,21: M2+M(20)	7,23: M4+M(20)	13,29: M0+M2	12,21: M0+M4
2012	18,23: M0+M1	16,16: M0+M2	13,26: M0+M4:	7,30 M2+M(20)	7,32: M4+M(20)	16,06: M2+M(60)	14,00: M4+M(60)
2013	18,28: M0+M1	16,25: M0+M2	13,37: M0+M4	7,39: M0+M2	7,41: M4+M(20)	7,39: M0+M2	7,41: M0+M4
2014	18,33: M0+M1	16,33: M0+M2	13,48: M0+M4	7,49: M2+M(20)	7,50: M4+M(20)	13,66: M2+M(60)	12,56: M0+M4
2015	18,38: M0+M1	16,41: M0+M2	13,58: M0+M4	7,59: M2+M(20)	7,59: M4+M(20)	16,33: M2+M(60)	14,29: M4+M(60)
2016	18,43: M0+M1	16,49: M0+M2	13,69: M0+M4	7,68: M2+M(20)	7,68: M4+M(20)	7,68: M0+M2	7,68: M0+M4
2017	18,48: M0+M1	16,57: M0+M2	13,80: M0+M4	7,78: M2+M(20)	7,78: M4+M(20)	14,03: M0+M2	12,90: M0+M4
2018	18,52: M0+M1	16,65: M0+M2	13,90: M0+M4	7,88: M2+M(20)	7,87: M4+M(20)	16,58: M2+M(60)	14,59: M4+M(60)
2019	18,57: M0+M1	16,73: M0+M2	14,01: M0+M4	7,98: M2+M(20)	7,97: M4+M(20)	7,98: M0+M2	7,97: M0+M4
2020	18,62: M0+M1	16,80: M0+M2	14,11: M0+M4	8,09: M2+M(20)	8,06: M4+M(20)	14,39: M0+M2	13,24: M0+M4
2021	18,66: M0+M1	16,88: M0+M2	14,22: M0+M4	8,19: M2+M(20)	8,16: M4+M(20)	16,82: M2+M(60)	14,87: M4+M(60)
2022	18,71: M0+M1	16,95: M0+M2	14,32: M0+M4	8,29: M2+M(20)	8,26: M4+M(20)	8,29: M0+M2	8,26: M0+M4
2023	18,75: M0+M1	17,03: M0+M2	14,43: M0+M4	8,40: M2+M(20)	8,36: M4+M(20)	14,74: M0+M2	13,57: M0+M4
2024	18,79: M0+M1	17,10: M0+M2	14,53: M0+M4	8,51: M2+M(20)	8,46: M4+M(20)	17,05: M2+M(60)	15,15: M4+M(60)
2025	18,83: M0+M1	17,17: M0+M2	14,63: M0+M4	8,62: M2+M(20)	8,57: M4+M(20)	8,62: M0+M2	8,57: M0+M4
Gesamtkosten [US \$]	3.365.850	6.731.700	13.463.400	139.364.460	146.048.920	139.930.033	146.614.493
Kosten/ km	2.850	5.700	11.400	118.006	123.666	118.485	124.145

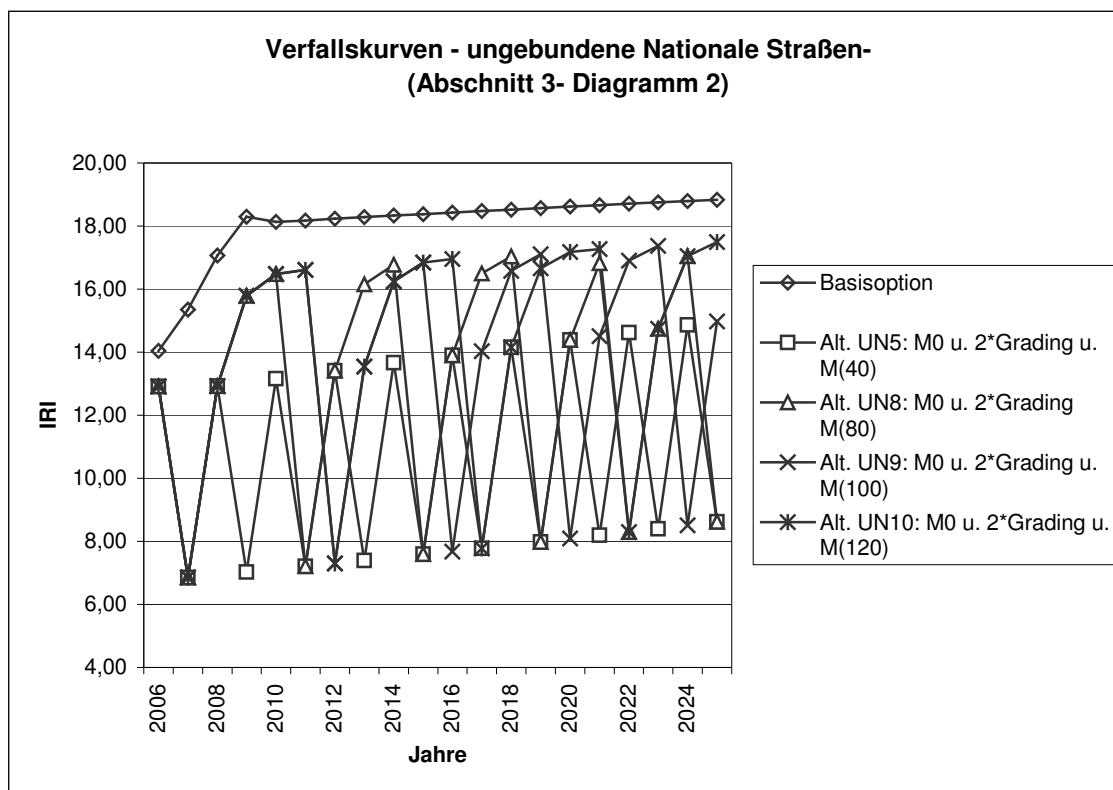


Abbildung A3.0-14: Verfallskurven: ungebundene Nationale Straßen (NUR-Abschnitt 3- Diagramm 2)

TabelleA3.0-14: Beschreibung der Erhaltungsaktivitäten und Gesamtkosten der verschiedenen Alternativen (NUR- Abschnitt 3 - Diagramm 2)

Jahr	Alt.UN5	Alt. UN8	Alt.UN9	Alt.UN10
2006	12,91: M2+M(40)	12,91: M2+M(80)	12,91: M2+M(100)	12,91: M2+M(120)
2007	6,85: M0+M2	6,85: M0+M2	6,85: M0+M2	6,85: M0+M2
2008	12,92: M2+M(40)	12,92: M0+M2	12,92: M0+M2	12,92: M0+M2
2009	7,03: M0+M2	15,79: M0+M2	15,79: M0+M2	15,79: M0+M2
2010	13,16: M2+M(40)	16,48: M2+M(80)	16,48: M0+M2	16,48: M0+M2
2011	7,21: M0+M2	7,21: M0+M2	16,61: M2+M(100)	16,61: M2+M(120)
2012	13,41: M2+M(40)	13,41: M0+M2	7,30: M0+M2	7,30: M0+M2
2013	7,39: M0+M2	16,15: M0+M2	13,54: M0+M2	13,54: M0+M2
2014	13,66: M2+M(40)	16,77: M2+M(80)	16,24: M0+M2	16,24: M0+M2
2015	7,59: M0+M2	7,59: M0+M2	16,84: M0+M2	16,84: M0+M2
2016	13,90: M2+M(40)	13,90: M0+M2	7,68: M2+M(100)	16,95: M2+M(120)
2017	7,78: M0+M2	16,50: M0+M2	14,03: M0+M2	7,78: M0+M2
2018	14,15: M2+M(40)	17,04: M2+M(80)	16,58: M0+M2	14,15: M0+M2
2019	7,98: M0+M2	7,98: M0+M2	17,11: M0+M2	16,66: M0+M2
2020	14,39: M2+M(40)	14,39: M0+M2	8,09: M0+M2	17,18: M0+M2
2021	8,19: M0+M2	16,82: M0+M2	14,51: M2+M(100)	17,27: M2+M(120)
2022	14,62: M2+M(40)	8,29: M2+M(80)	16,90: M0+M2	8,29: M0+M2
2023	8,40: M0+M2	14,74: M0+M2	17,37: M0+M2	14,74: M0+M2
2024	14,86: M2+M(40)	17,05: M0+M2	8,51: M0+M2	17,05: M0+M2
2025	8,62: M0+M2	8,62: M0+M2	14,97: M0+M2	17,49: M0+M2
Gesamtkosten [US \$]	143.307.694	138.804.146	131.562.559	118.420.224
Kosten/km	121.345	117.532	111.340	100.272

Anlage A3.1: Erhaltungsprogramm der vorgeschlagenen Maßnahmenstrategie ohne Budgetbegrenzung (100%)

- 1 -

Tabelle A3.1: Erhaltungsprogramm der vorgeschlagenen Maßnahmenstrategie ohne Budgetbegrenzung

Jahr	Repräsentativabschnitt	Länge [km]	Erhaltungsmaßnahme	Baukosten [Mio. \$]	Kumulative Kosten [Mio. \$]
2006	National Paved Road Bad Condition	1440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	191,52
	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	193,14
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	287,18
	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	358,73
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	377,35
	Departmental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	410,52
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	43,17	453,59
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	11,73	465,32
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	26,10	491,42
	Departmental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	492,67
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	97,26	589,93
2007	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,05	591,98
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,10	597,08
2008	National Paved Road Fair Condition	1210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	758,01
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,25	771,26
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,07	773,33
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,15	778,48
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	32,75	811,23
2009	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	825,59
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,08	827,67
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,20	832,87
2010	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,36	846,23
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,10	848,33
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,25	853,58
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	32,89	886,47
2011	Departmental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	894,79
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,11	896,90
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,30	902,20
2012	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,46	915,66
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,13	917,79
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,36	923,15
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,03	956,18
2013	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	957,80
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,15	959,95
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,41	965,36
2014	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,61	978,97
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,16	981,13
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,47	986,60
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,18	1019,78
2015	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,18	1021,96
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,53	1027,49

Anlage A3.1: Erhaltungsprogramm der vorgeschlagenen Maßnahmenstrategie ohne Budgetbegrenzung (100%)

- 2 -

Fortsetzung der Tabelle A3-1: Unterhaltungsprogramm der vorgeschlagenen Maßnahmenstrategie ohne Budgetbegrenzung

2016	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	1099,04
	Departemental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	1132,21
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,75	1145,96
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,20	1148,16
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,58	1153,74
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,34	1187,08
2017	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,22	1189,30
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,65	1194,95
2018	National Paved Road Bad Condition	1440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	1386,47
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	1480,50
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	1499,12
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,89	1513,01
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,24	1515,25
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,71	1520,96
	Departemental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	1522,21
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,51	1555,72
2019	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	1557,34
	National Paved Road Fair Condition	1210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	1718,27
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,26	1720,53
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,77	1726,30
2020	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	1740,66
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	14,04	1754,70
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,28	1756,98
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,84	1762,82
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,68	1796,50
2021	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,30	1798,80
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,90	1804,70
2022	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2.053	Regravelling at 130mm	14,19	1818,89
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,32	1821,21
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,97	1827,18
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,86	1861,04
2023	National Paved Roads Good Condition	29	Overlay 50mm at 5 IRI	3,86	1864,90
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,34	1867,24
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,04	1873,28
	Departemental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	1881,60
2024	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	14,36	1895,96
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,36	1898,32
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,12	1904,44
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	34,05	1938,49
2025	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,39	1940,88
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,19	1947,07

Tabelle A3.2: Erhaltungsprogramm mit Budgetbegrenzung (62%)

Jahr	Repräsentativabschnitt	Länge [km]	Erhaltungsmaßnahme	Baukosten [Mio. \$]	Kumu- lative Kosten [Mio. \$]
2006	National Paved Road Bad Condition	1.440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	191,52
	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	193,14
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	287,18
	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	358,73
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	377,35
	Departemental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	410,52
	Departemental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	411,78
2008	National Paved Road Fair Condition	1.210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	572,71
2009	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	587,07
2011	Departemental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	595,39
2013	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	597,02
2016	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	668,57
	Departemental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	701,75
2018	National Paved Road Bad Condition	1.440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	893,27
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	987,30
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	1.005,92
	Departemental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	1.007,17
2019	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	1.008,79
	National Paved Road Fair Condition	1.210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	1.169,72
2020	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	1.184,09
2023	National Paved Roads Good Condition	29	Overlay 50mm at 5 IRI	3,86	1.187,95
	Departemental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	1.196,27

Anlage A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse ohne Budgetbegrenzung
(Betrachtungsperiode: 40 Jahre) - 1 -

Tabelle: A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse (Betrachtungsperiode: 40 Jahre)

Jahr	Repräsentativabschnitt	Länge [km]	Erhaltungsmaßnahme	Baukosten [Mio. \$]	Kumulative Kosten [Mio. \$]
2006	National Paved Road Bad Condition	1440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	191,52
	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	193,14
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	287,18
	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	358,73
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	377,35
	Departmental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	410,52
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	43,17	453,59
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	11,73	465,32
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	26,10	491,42
	Departmental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	492,67
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	97,26	589,93
2007	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,05	591,98
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,10	597,08
2008	National Paved Road Fair Condition	1210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	758,01
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,25	771,26
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,07	773,33
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,15	778,48
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	32,75	811,23
2009	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	825,59
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,08	827,67
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,20	832,87
2010	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,36	846,23
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,10	848,33
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,25	853,58
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	32,89	886,47
2011	Departmental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	894,79
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,11	896,90
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,30	902,20
2012	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,46	915,66
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,13	917,79
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,36	923,15
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,03	956,18
2013	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	957,80
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,15	959,95
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,41	965,36
2014	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,61	978,97
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,16	981,13
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,47	986,60
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,18	1019,78
2015	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,18	1021,96
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,53	1027,49

Anlage A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse ohne Budgetbegrenzung
(Betrachtungsperiode: 40 Jahre) - 2 -

Fortsetzung der Tabelle A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse (Betrachtungsperiode: 40 Jahre)

2016	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	1099,04
	Departemental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	1132,21
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,75	1145,96
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,20	1148,16
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,58	1153,74
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,34	1187,08
2017	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,22	1189,30
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,65	1194,95
2018	National Paved Road Bad Condition	1440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	1386,47
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	1480,50
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	1499,12
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	13,89	1513,01
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,24	1515,25
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,71	1520,96
	Departemental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	1522,21
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,51	1555,72
2019	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	1557,34
	National Paved Road Fair Condition	1210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	1718,27
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,26	1720,53
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,77	1726,30
2020	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	1740,66
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	14,04	1754,70
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,28	1756,98
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,84	1762,82
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,68	1796,50
2021	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,30	1798,80
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,90	1804,70
2022	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	14,19	1818,89
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,32	1821,21
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	5,97	1827,18
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	33,86	1861,04
2023	National Paved Roads Good Condition	29	Overlay 50mm at 5 IRI	3,86	1864,90
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,34	1867,24
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,04	1873,28
	Departemental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	1881,60
2024	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	14,36	1895,96
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,36	1898,32
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,12	1904,44
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	34,05	1938,49
2025	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,39	1940,88
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,19	1947,07
2026	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	14,53	1961,60
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,41	1964,01
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,27	1970,28
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	34,26	2004,54

Anlage A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse ohne Budgetbegrenzung
(Betrachtungsperiode: 40 Jahre) - 3 -

Fortsetzung der Tabelle A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse (Betrachtungsperiode: 40 Jahre)

2027	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	2076,09
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,33	2083,42
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,43	2085,85
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,34	2092,19
2028	Departemental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	2125,36
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,38	2132,74
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,46	2135,20
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,42	2141,62
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	34,47	2176,09
2029	National Paved Road Fair Condition	1210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	2337,02
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	2431,05
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	2449,67
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,42	2457,09
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,48	2459,57
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,50	2466,07
2030	National Paved Road Bad Condition	1440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	2657,59
	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	2671,95
	Departemental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	2673,20
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,47	2680,67
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,51	2683,18
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,59	2689,77
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	34,69	2724,46
2031	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,52	2731,98
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,53	2734,51
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,67	2741,18
2032	National Paved Roads Good Condition	29	Reseal at 20% surface damage	1,62	2742,80
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,57	2750,37
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,56	2752,93
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,76	2759,69
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	34,93	2794,62
2033	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,63	2802,25
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,59	2804,84
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,85	2811,69
2034	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,68	2819,37
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,62	2821,99
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	6,95	2828,94
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	35,17	2864,11
2035	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	3.778	Regravelling at 130mm	7,73	2871,84
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,65	2874,49
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,04	2881,53
2036	Departemental Paved Roads Fair Conditions	73	Overlay 50mm at 6 IRI	8,32	2889,85
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,14	2896,99
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,68	2899,67
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,79	2907,46
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	35,43	2942,89

Anlage A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse ohne Budgetbegrenzung
(Betrachtungsperiode: 40 Jahre) - 4 -

Fortsetzung der Tabelle A3.3: Erhaltungsprogramm von der Sensitivitätsanalyse (Betrachtungsperiode: 40 Jahre)

Jahr	Repräsentativabschnitt	Länge [km]	Erhaltungsmaßnahme	Finanzielle Kosten [Mio. \$]	Kumulative Kosten [Mio. \$]
2037	National Paved Roads Good Condition	29	Overlay 50mm at 5 IRI	3,86	2946,75
	Provincial Paved Road Bad Condition	538	Overlay 50mm at 5.5 IRI	71,55	3018,30
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,85	3026,15
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,71	3028,86
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,24	3036,10
2038	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,91	3044,01
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,74	3046,75
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,34	3054,09
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	35,70	3089,79
2039	National Paved Road Fair Condition	1.210	Overlay 50mm at 5 IRI	160,93	3250,72
	National Paved Road Poor Condition	707	Overlay 50mm at 5 IRI	94,03	3344,75
	Provincial Paved Road Poor Condition	140	Overlay 50mm at 5.5 IRI	18,62	3363,37
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	7,97	3371,34
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,77	3374,11
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,44	3381,55
2040	National Paved Road Bad Condition	1.440	Overlay 50mm at 6 IRI	191,52	3573,07
	Provincial Paved Roads Fair Condition	108	Overlay 50mm at 5.5 IRI	14,36	3587,43
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	8,03	3595,46
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,80	3598,26
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,55	3605,81
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	35,99	3641,80
2041	Departemental Paved Road Bad Conditions	291	Overlay 50mm at 7 IRI	33,17	3674,97
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	8,09	3683,06
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,84	3685,90
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,66	3693,56
2042	Departemental Paved Road Poor Conditions	11	Overlay 50mm at 6 IRI	1,25	3694,81
	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	8,16	3702,97
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,87	3705,84
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,77	3713,61
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	36,29	3749,90
2043	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	8,23	3758,13
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,91	3761,04
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	7,89	3768,93
2044	Nationale Unpaved Road (NUR-1)	2053	Regravelling at 130mm	8,29	3777,22
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,94	3780,16
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	8,01	3788,17
	Provincial and Departement Unpaved Road	5925	Regravelling at 70mm	36,60	3824,77
2045	Nationale Unpaved Road	3.778	Regravelling at 130mm	8,37	3833,14
	Nationale Unpaved Road (NUR-2)	544	Regravelling at 130mm	2,98	3836,12
	Nationale Unpaved Road (NUR-3)	1181	Regravelling at 130mm	8,13	3844,25

Tabelle A3.4-1: : Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Nationale asphaltierte Straßen, guter Zustand -NPRGC – (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PN1	2,48	2,44	2,44	71,73	0,00	69,29	28,440	28,440	224,0
Alt.PN2	2,86	2,86	2,83	72,81	0,00	69,98	24,441	24,447	71,0
Alt.PN3	2,57	2,57	2,54	72,15	0,00	69,61	27,040	27,040	71,0
Alt.PN4	2,41	2,37	2,38	71,28	0,00	68,90	29,035	29,035	224,0

Tabelle A3.4-2: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Nationale asphaltierte Straßen, angemessener Zustand -NPRFC – (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PN1	139,45	139,09	138,48	3.449,55	0,00	3.311,07	23,743	23,805	112,0
Alt.PN2	162,76	162,75	161,79	3.347,00	0,00	3.185,21	19,571	19,571	79,0
Alt.PN3	258,35	258,35	257,38	2.982,19	0,00	2.724,81	10,547	10,547	78,0
Alt.PN4	111,77	110,88	110,80	3.272,83	0,00	3.162,03	28,290	28,516	223,0

Tabelle A3.4-3: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt National asphaltierte Straßen, schlechter Zustand -NPRPC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PN1	99,51	99,51	98,97	2.459,84	0,00	2.360,88	23,725	23,725	116,0
Alt.PN2	106,54	106,54	106,00	2.446,63	0,00	2.340,63	21,969	21,969	116,0
Alt.PN3	231,98	231,98	231,44	2.066,10	0,00	1.834,67	7,909	7,909	108,0
Alt.PN4	95,47	95,39	94,92	2.432,35	0,00	2.337,42	24,484	24,505	116,0

Tabelle A3.4-4: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt National asphaltierte Straßen, sehr schlechter Zustand –NPRBC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PN1	1.155,16	1.155,16	1.154,59	5.616,56	0,00	4.461,96	3,863	3,863	43,0
Alt.PN2	1.167,25	1.167,25	1.166,68	5.573,06	0,00	4.406,38	3,775	3,775	43,0
Alt.PN3	1.147,14	1.147,14	1.146,57	5.458,99	0,00	4.312,42	3,759	3,759	42,0
Alt.PN4	202,68	202,68	202,11	5.443,91	0,00	5.241,80	25,862	25,863	175,0

Tabelle A3.4-5: Tabelle: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Provinz asphaltierte Straßen, angemessener Zustand –PPRFC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PP1	11,10	11,08	11,04	132,23	0,00	121,19	10,916	10,933	75,0
Alt.PP2	13,02	13,02	12,95	128,94	0,00	115,98	8,909	8,909	48,0
Alt.PP3	21,17	21,17	21,11	101,16	0,00	80,05	3,781	3,781	46,0
Alt.PP4	8,88	8,84	8,81	121,92	0,00	113,10	12,740	12,799	112,0

Tabelle A3.4-6: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Provinz asphaltierte Straßen, schlechter Zustand -PPRPC-(Kosten in US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PP1	19,71	19,70	19,65	247,92	0,00	228,27	11,582	11,584	75,0
Alt.PP2	21,10	21,10	21,04	246,03	0,00	224,99	10,664	10,664	75,0
Alt.PP3	45,05	45,04	44,99	191,84	0,00	146,85	3,260	3,260	62,0
Alt.PP4	17,61	17,59	17,55	237,05	0,00	219,51	12,466	12,477	88,0

Tabelle A3.4-7: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Provinz asphaltierte Straßen, sehr schlechter Zustand –PPRBC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PP1	79,66	79,66	79,54	1.164,47	0,00	1.084,93	13,619	13,620	114,0
Alt.PP2	83,09	83,08	82,97	1.164,65	0,00	1.081,68	13,018	13,019	114,0
Alt.PP3	294,45	294,45	294,33	1.008,01	0,00	713,67	2,424	2,424	46,0
Alt.PP4	75,74	75,72	75,62	1.146,60	0,00	1.070,98	14,141	14,144	114,0

Tabelle A3.4-8: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Departement asphaltierte Straßen, angemessener Zustand – DPRFC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PD1	5,01	5,00	4,98	16,17	0,00	11,19	2,233	2,238	38,0
Alt.PD2	6,31	6,31	6,28	16,07	0,00	9,80	1,554	1,554	25,0
Alt.PD3	5,55	5,55	5,52	9,92	0,00	4,40	0,791	0,791	19,0
Alt.PD4	3,20	3,17	3,17	14,18	0,00	11,02	3,447	3,475	48,0

Tabelle A3.4-9: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Departement asphaltierte Straßen, schlechter Zustand -DPRPC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PD1	1,33	1,33	1,32	5,87	0,00	4,54	3,413	3,422	49,0
Alt.PD2	1,44	1,44	1,43	5,82	0,00	4,38	3,040	3,046	38,0
Alt.PD3	2,74	2,74	2,73	3,81	0,00	1,08	0,395	0,395	22,0
Alt.PD4	1,16	1,16	1,16	5,49	0,00	4,33	3,723	3,739	43,0

Tabelle A3.4-10: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Departement asphaltierte Straßen, sehr schlechter Zustand – DPRBC- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/RAC	NPV/CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.PD1	196,13	196,13	196,08	242,09	0,00	46,00	0,235	0,251	15,0
Alt.PD2	194,56	194,56	194,51	240,67	0,00	46,16	0,237	0,253	15,0
Alt.PD3	194,56	194,56	194,51	240,67	0,00	46,16	0,237	0,253	15,0
Alt.PD4	36,94	36,93	36,88	229,82	0,00	192,93	5,224	5,364	72,0

Tabelle A3.4-11: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Nationale ungebundene Straßen – Abschnitt 1 (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/RAC	NPV/CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00
Alt.UN1	4,12	0,00	2,06	154,26	0,00	152,20	36,925	Null Kosten	Keine IRR
Alt.UN2	8,24	0,00	6,18	308,25	0,00	302,07	36,641	Null Kosten	Lösung Keine IRR
Alt.UN3	79,54	75,42	77,48	376,49	0,00	299,01	3,759	3,965	114,0
Alt.UN4	83,66	75,42	81,60	395,00	0,00	313,40	3,746	4,155	165,0
Alt.UN5	77,30	73,18	75,24	316,33	0,00	241,09	3,119	3,295	107,0
Alt.UN6	74,02	69,63	71,96	272,29	0,00	200,33	2,706	2,877	103,0
Alt.UN7	77,88	66,63	75,82	335,55	0,00	259,74	3,335	3,730	167,0
Alt.UN8	71,31	66,89	69,25	243,20	0,00	173,95	2,439	2,600	102,0
Alt.UN9	71,35	67,01	69,29	226,16	0,00	156,87	2,199	2,341	101,0
Alt.UN10	65,34	60,92	63,28	213,83	0,00	150,55	2,304	2,471	keine IRR Lösung

Tabelle A3.4-12: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Nationale ungebundene Straßen – Abschnitt 2 (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00
Alt.UN1	1,09	0,00	0,55	67,16	0,00	66,62	60,992	Null Kosten	Keine IRR Lösung
Alt.UN2	2,18	0,00	1,64	152,43	0,00	150,79	66,028	Null Kosten	Keine IRR Lösung
Alt.UN3	24,29	23,19	23,74	266,46	0,00	242,72	9,994	10,465	353,0
Alt.UN4	25,38	23,19	24,83	270,48	0,00	245,65	9,679	10,591	Keine IRR Lösung
Alt.UN5	23,53	22,22	22,99	211,91	0,00	188,92	8,028	8,501	333,0
Alt.UN6	23,54	21,52	23,00	169,61	0,00	146,61	6,227	6,814	326,0
Alt.UN7	23,76	21,52	23,21	199,22	0,00	176,01	7,409	8,180	Keine IRR Lösung
Alt.UN8	22,11	20,38	21,56	142,66	0,00	121,10	5,477	5,941	324,0
Alt.UN9	21,07	19,51	20,52	126,15	0,00	105,63	5,013	5,414	324,0
Alt.UN10	21,06	19,58	20,51	117,19	0,00	96,68	4,591	4,939	324,0

Tabelle A3.4-13: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Nationale ungebundene Straßen – Abschnitt 3 (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/ RAC	NPV/ CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00
Alt.UN1	2,37	0,00	1,19	179,02	0,00	177,84	74,998	Null Kosten	Keine IRR Lösung
Alt.UN2	4,74	0,00	3,56	433,31	0,00	429,75	90,620	Null Kosten	Keine IRR Lösung
Alt.UN3	57,94	55,57	56,75	883,90	0,00	827,15	14,276	14,885	711,0
Alt.UN4	60,31	55,57	59,13	899,60	0,00	840,47	13,936	15,125	Keine IRR Lösung
Alt.UN5	68,71	53,10	57,52	659,28	0,00	601,76	10,250	11,331	685,0
Alt.UN6	55,73	51,33	54,54	515,80	0,00	461,26	8,277	8,987	683,0
Alt.UN7	58,10	51,33	56,91	617,70	0,00	560,79	9,653	10,926	Keine IRR Lösung
Alt.UN8	53,79	49,89	52,60	448,23	0,00	395,63	7,356	7,929	683,0
Alt.UN9	51,89	48,29	50,70	411,36	0,00	360,66	6,951	7,469	683,0
Alt.UN10	49,62	46,24	48,44	378,49	0,00	330,06	6,652	7,138	683,0

Tabelle:A3.4-14: Kosten-Nutzen-Verhältnis der Erhaltungsstrategien der Straßenabschnitt Provinz und Departement ungebundene Straßen - PDUR- (Kosten in Million US \$)

Option	Gesamte aktualisierte Baulastträger kosten (RAC)	Aktualisierte Baulastträger kapitalkosten (CAP)	Baulastträger kostenanstieg (C)	Verringerung von Nutzerkosten (B)	Exogene Nutzen (E)	Nettogegenwartswert (NPV = B+E-C)	NPV/RAC	NPV/CAP	Interne Zinsfuß (IRR)
Basisoption	5,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Alt.UPD1	11,90	0,00	5,95	184,92	0,00	178,97	15,045	Null Kosten	keine IRR Lösung
Alt.UPD2	17,84	0,00	11,90	263,82	0,00	251,92	14,118	Null Kosten	keine IRR Lösung
Alt.UPD3	23,79	0,00	17,84	309,99	0,00	292,15	12,279	Null Kosten	keine IRR Lösung
Alt.UPD4	191,18	176,50	185,23	267,52	0,00	82,29	0,430	0,466	27,0
Alt.UPD5	178,62	166,73	172,68	226,27	0,00	53,59	0,300	0,321	25,0
Alt.UPD6	169,76	153,30	163,81	200,83	0,00	37,02	0,218	0,241	24,0

Anlage A4.0: Verschiedene Klimazonen und landwirtschaftliche Produkte

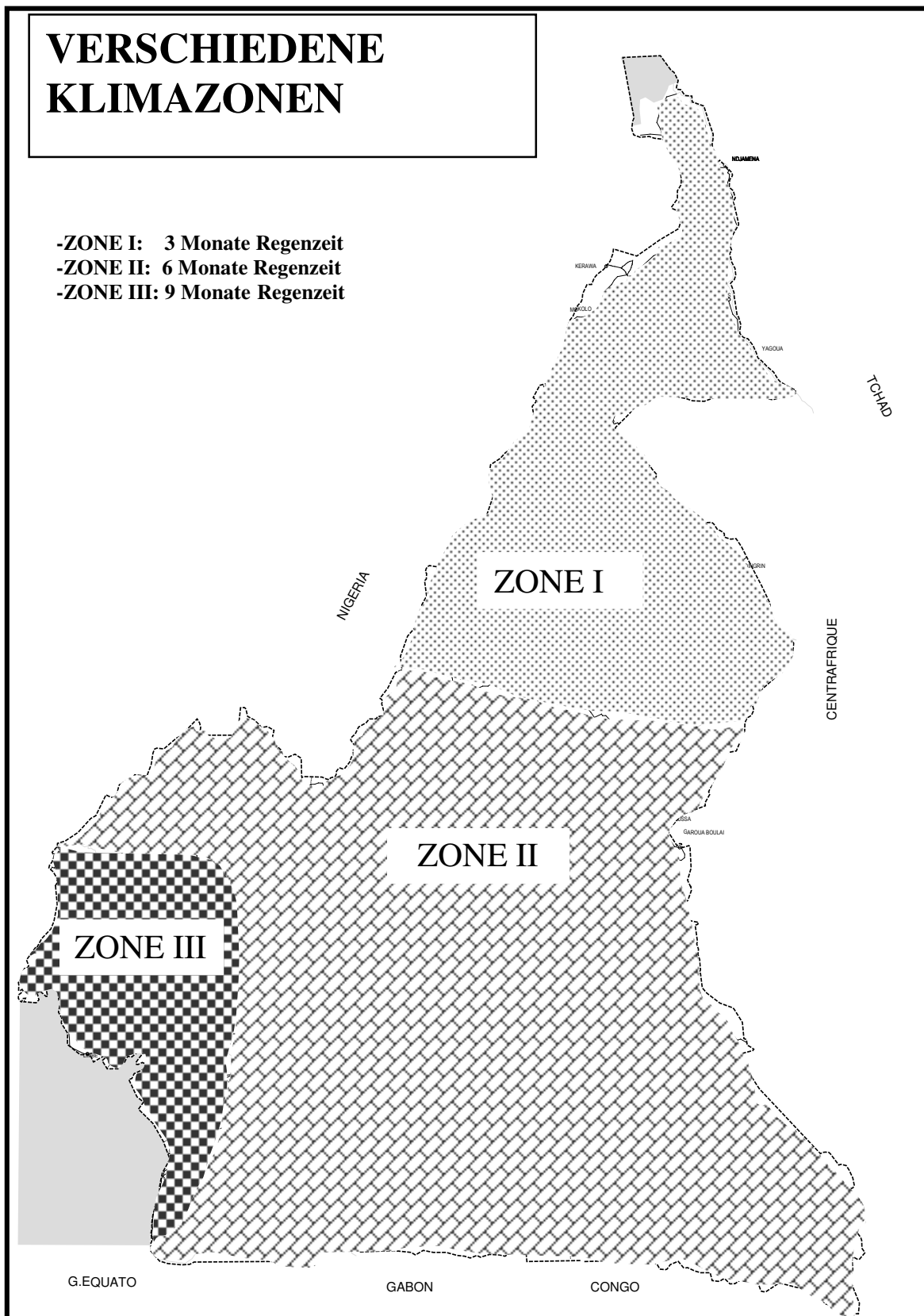


Abbildung A4.0-1: Verschiedene Klimazonen

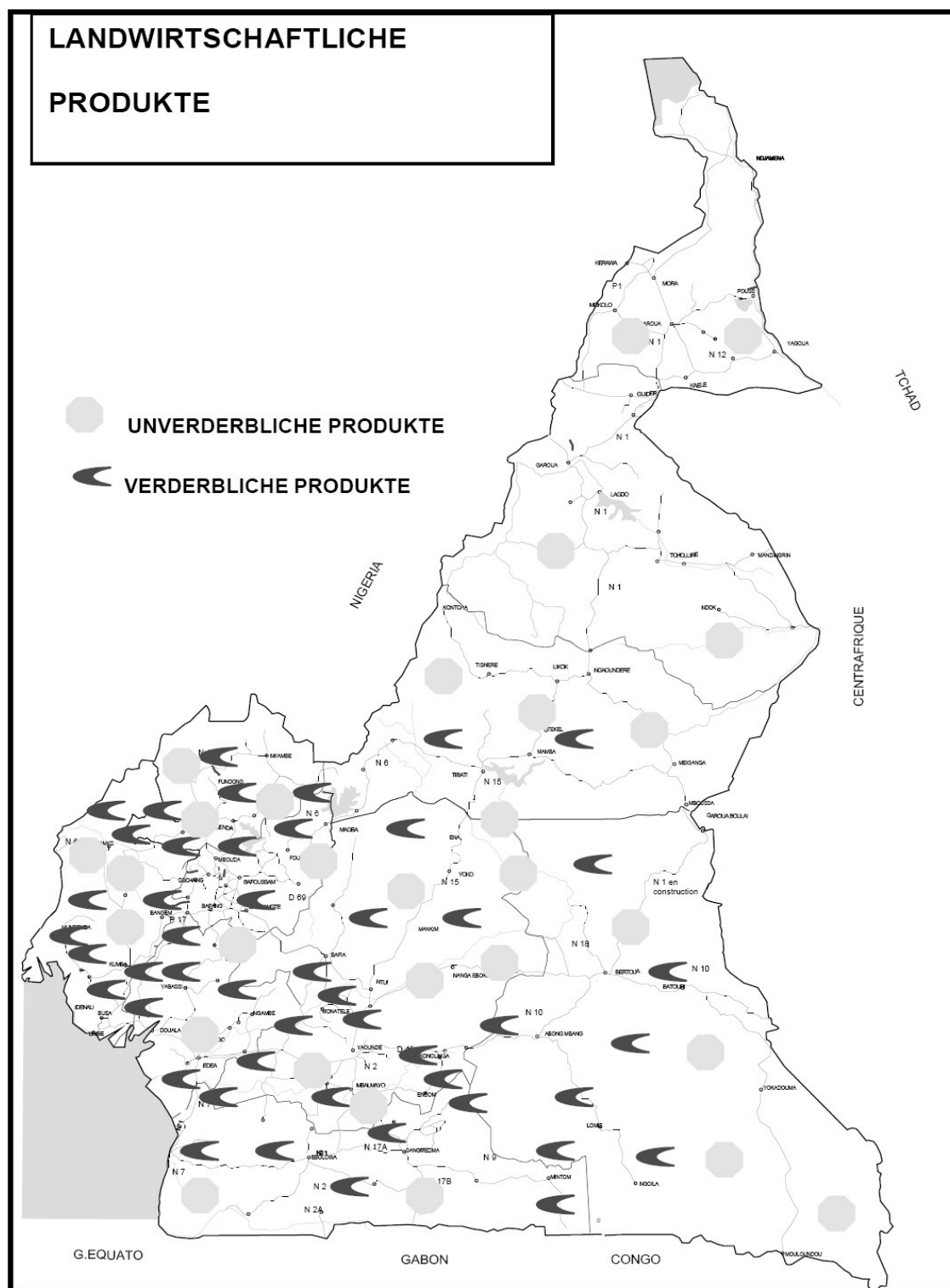


Abbildung A4.0-2: Verschiedene Landwirtschaftliche Produkte

Anlage A4.1: Verfallskurven der verschiedenen Straßenabschnitten

Die verschiedenen Kurven der Entwicklung der Längsunebenheit aller Straßenabschnitte (s. Tabelle 5-21) sind in der folgenden Abbildungen dargestellt.

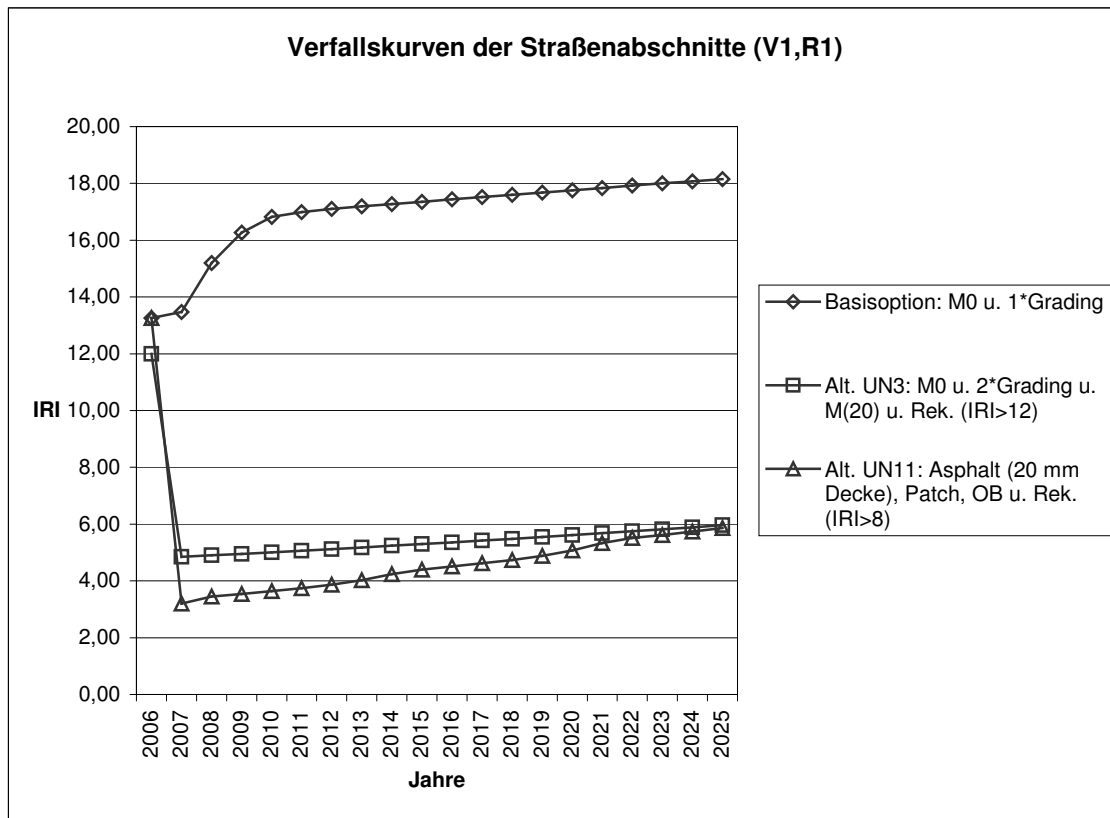


Abbildung A4.1-1: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V1,R1)

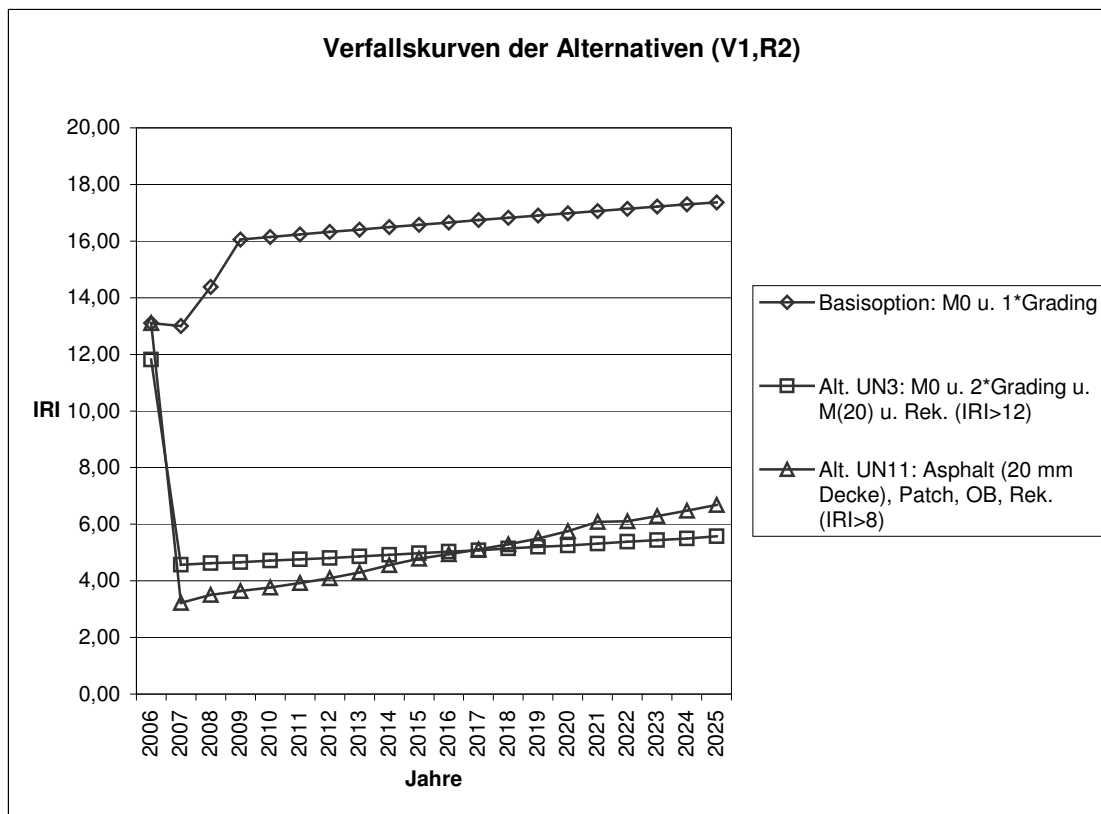


Abbildung A4.1-2: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V1,R2)

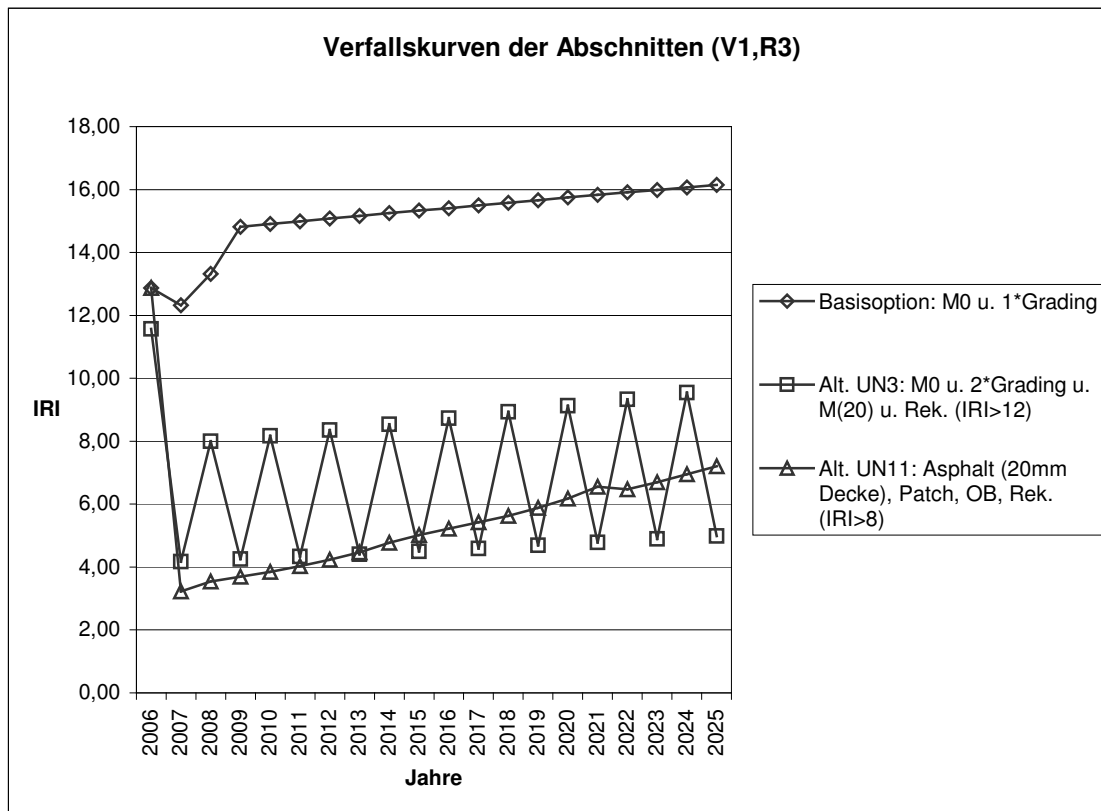


Abbildung A4.1-3: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V1,R3)

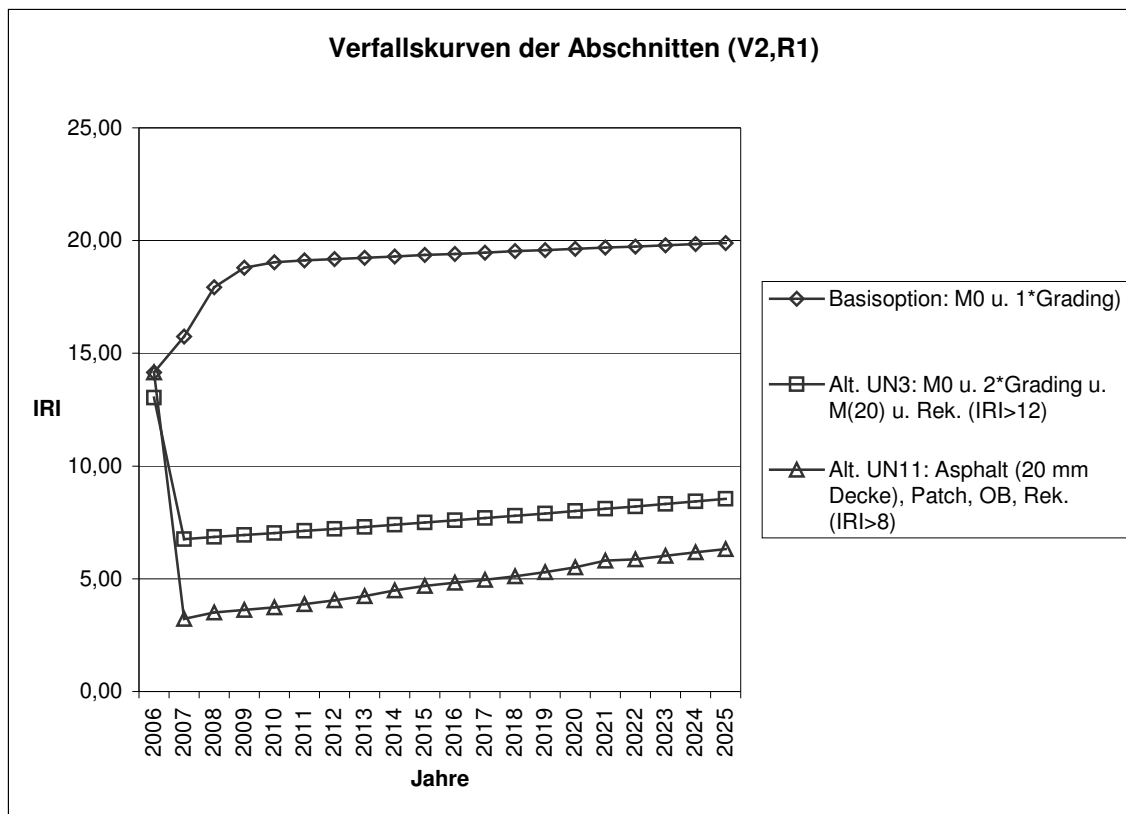


Abbildung A4.1-4: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V2,R1)

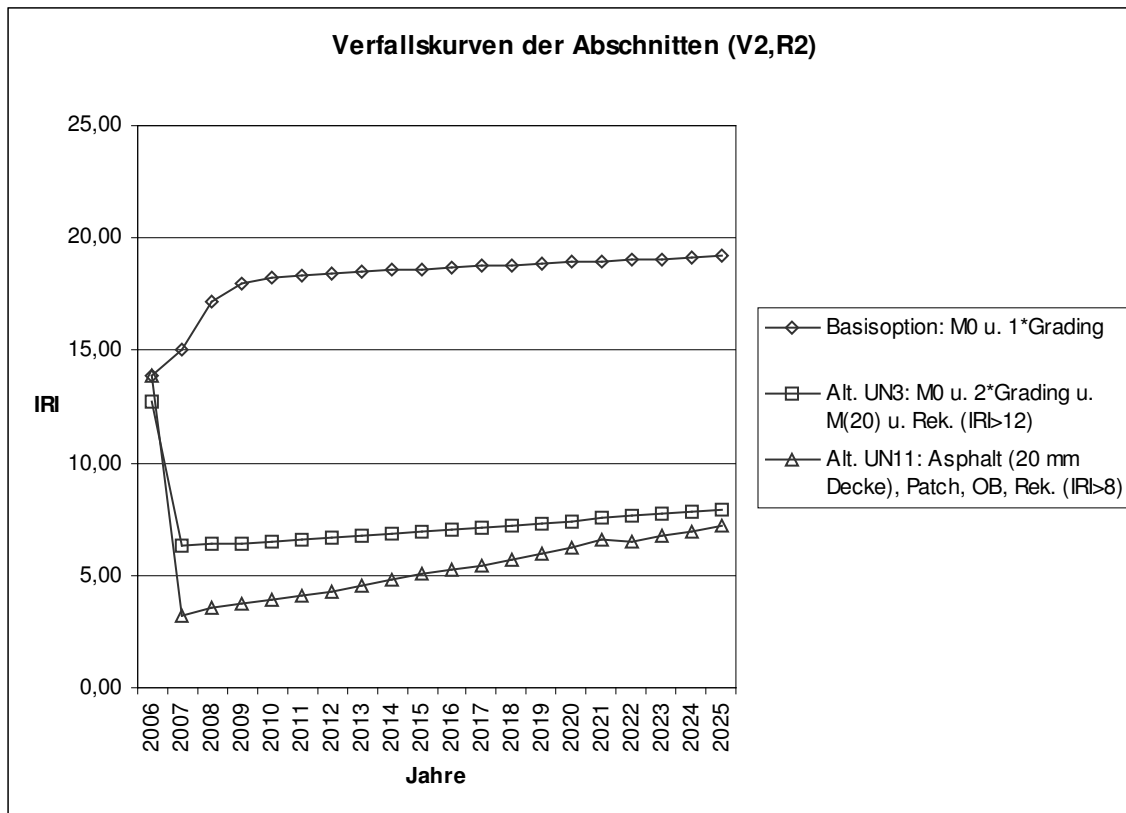


Abbildung A4.1-5: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V2,R2)

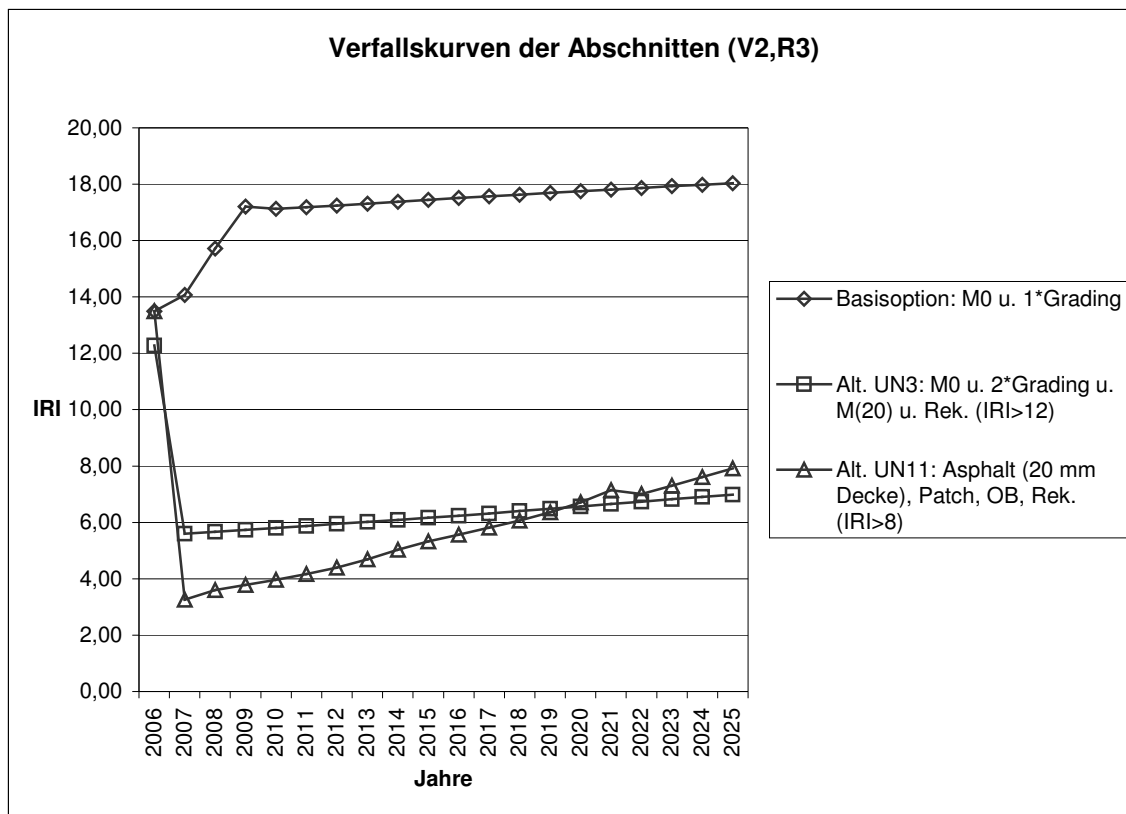


Abbildung A4.1-6: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V2,R3)

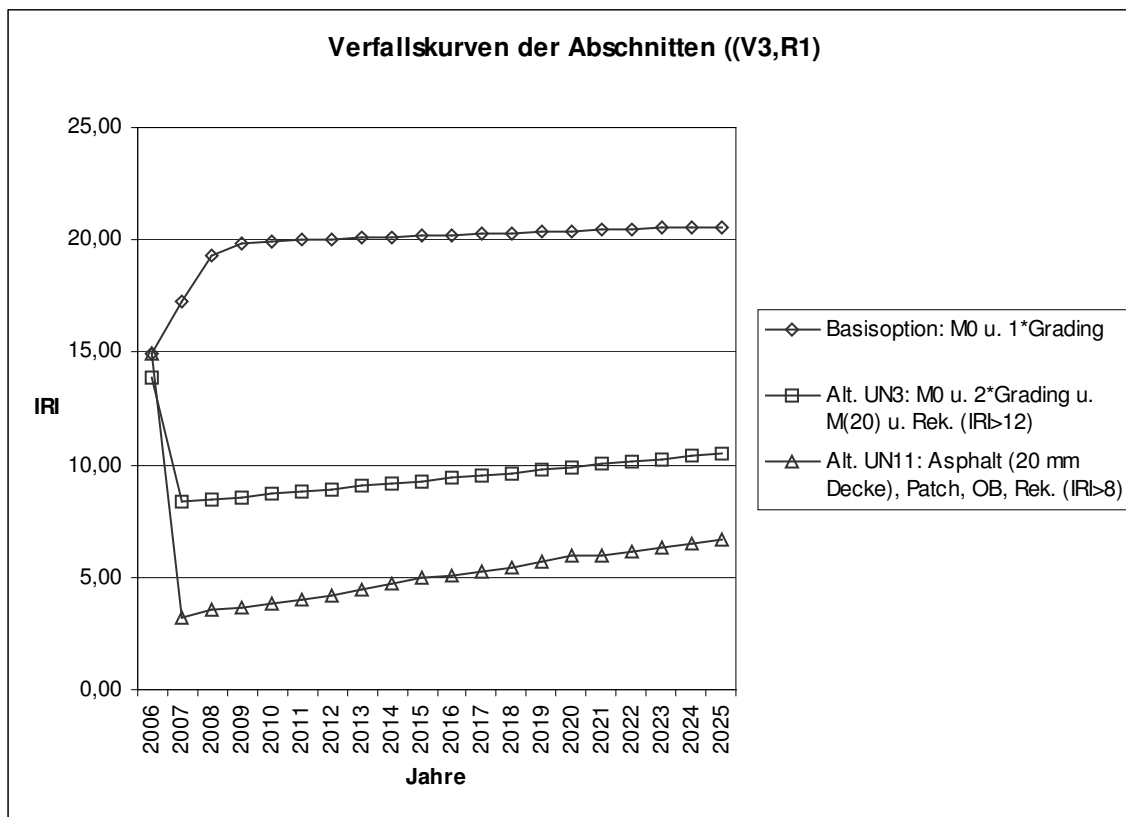


Abbildung A4.1-7: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V3,R1)

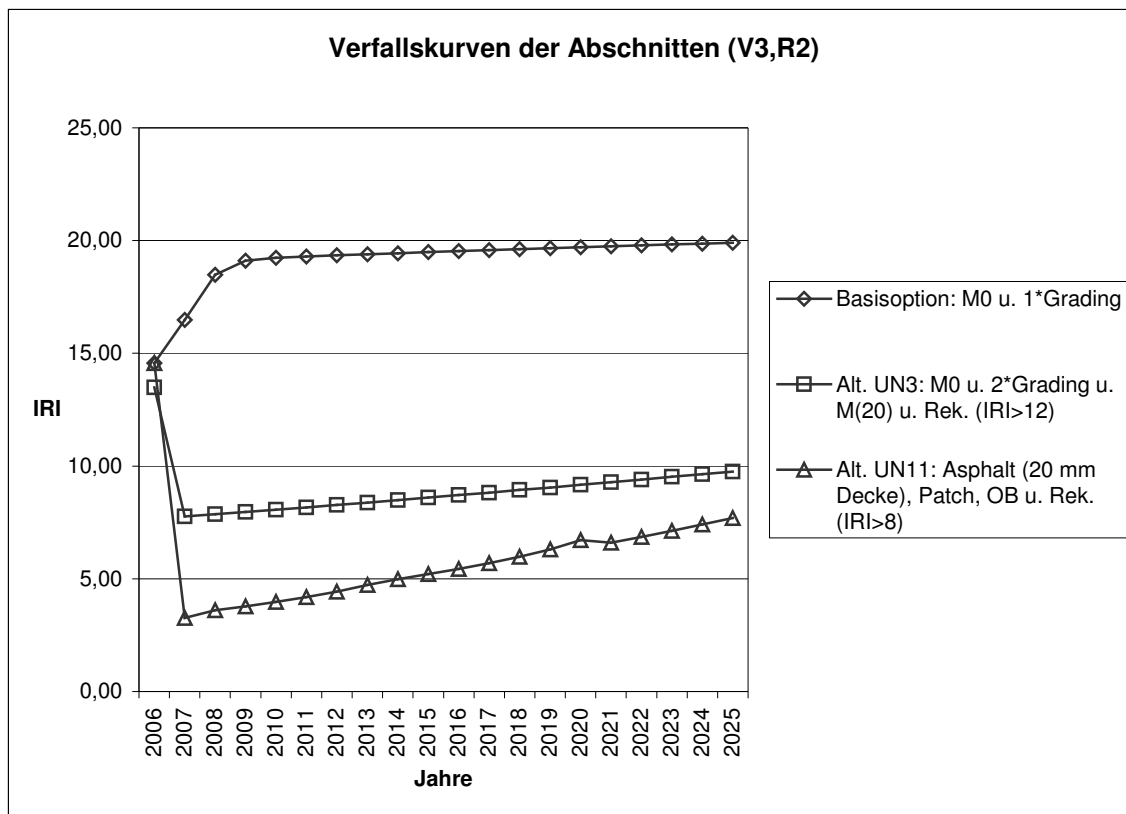


Abbildung A4.1-8: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V3,R2)

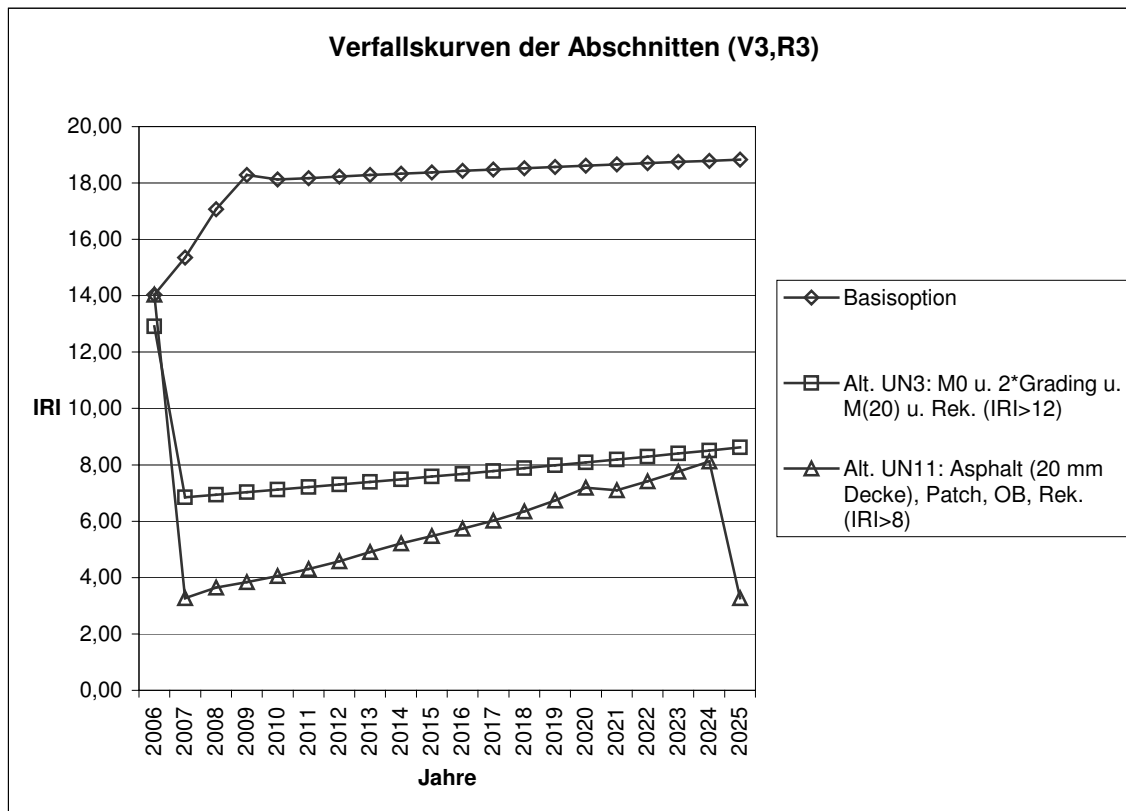


Abbildung A4.1-9: Verfallskurven der Straßenabschnitte (V3,R3)